Konstruktion, Bau und Betrieb

von

Funkeninduktoren

und deren Anwendung,

mit besonderer Berücksichtigung der

Röntgenstrahlen-Technik

von

Physiker **Ernst Ruhmer.**

Nebst einem Anhang:

Kurzer Überblick über die Grundzüge der Röntgentechnik des Arztes

von

Dr. Carl Bruno Schürmayer-Hannover.

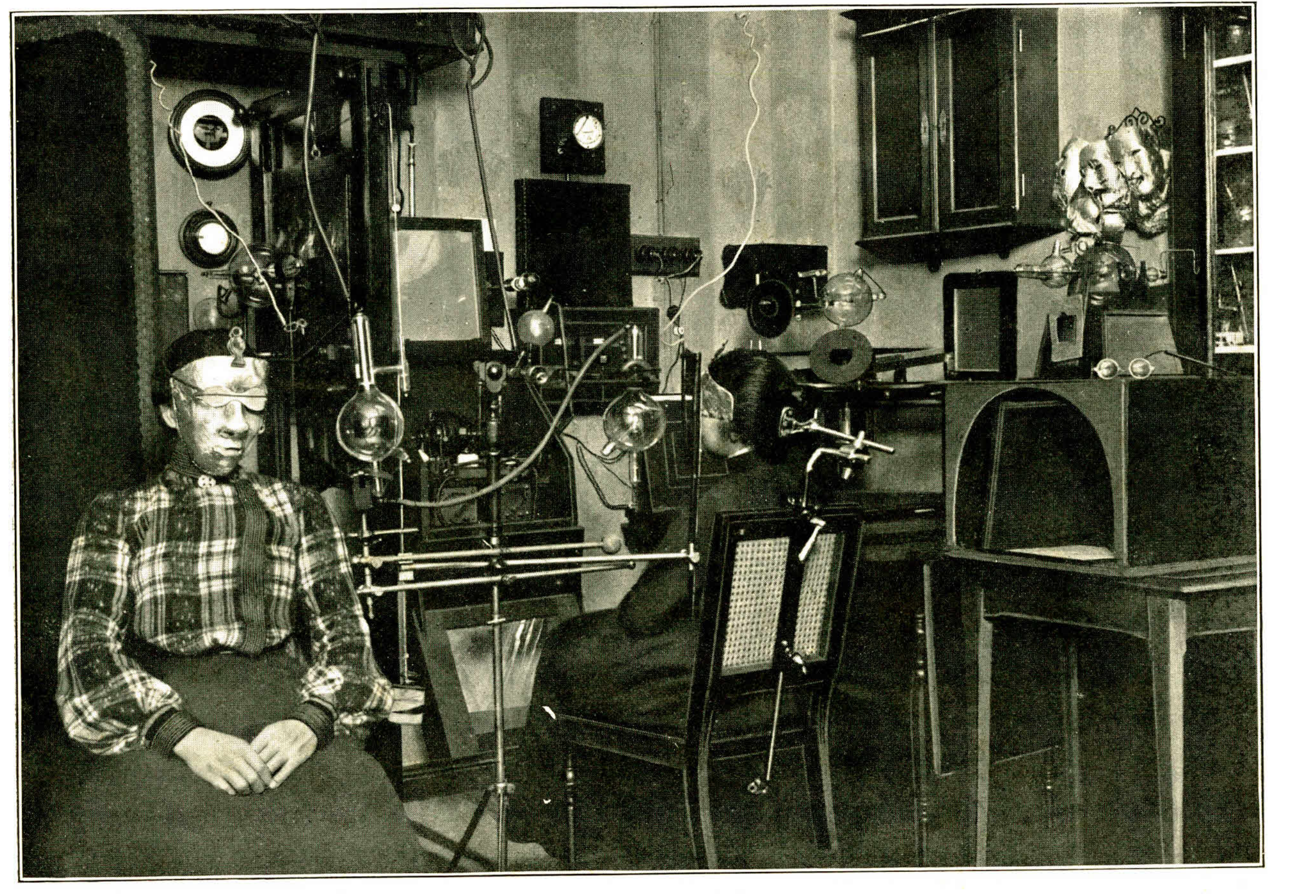
Mit 338 Abbildungen und 4 Tafeln.



LEIPZIG
Hachmeister & Thal
1904.



Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



Röntgenbestrahlung im ärztlichen Sprechzimmer.

Erklärung siehe Seite 299.

Ruhmer-Schürmayer, Funkeninduktoren. Verlag Hachmeister & Thal, Leipzig

Vorwort.

Mit der vielseitigen Anwendung der Röntgenstrahlen ist ein ganz neuer Zweig der Elektrotechnik ins Leben gerufen worden, der sich infolge der zahlreichen Verbesserungen und Vervollkommnungen der betreffenden Apparate innerhalb weniger Jahre zu einer besonderen Röntgenstrahlen-Technik ausgebildet hat.

Vorliegende Schrift gibt zunächst eine allgemein verständliche, ausführliche Übersicht über die Entwicklung der Induktionsapparate, Funkeninduktoren und Unterbrecher, mit besonderer Berücksichtigung der Konstruktion und des praktischen Baues moderner größerer Induktoren und deren Betrieb.

In einem zweiten Abschnitt werden die Anwendung der Apparate zur Erzeugung der Röntgenstrahlen und die erforderlichen Nebenapparate eingehend besprochen.

Den Schluß bildet eine kurze Abhandlung über Tesla-Apparate und Erscheinungen, weil diese einmal dazu berufen erscheinen, in einem Resonanzinduktorium die Entwicklung der Funkeninduktoren zu beschließen.

Der dem Buche beigegebene Anhang, welchen Herr Dr. Schürmayer zu übernehmen die Freundlichkeit hatte, gibt einen kurzen Überblick über die Grundzüge der medizinischen Röntgentechnik und dürfte namentlich dem dieselbe ausübenden Anfänger willkommen sein.

Da die bedeutendsten Erfindungen und Konstruktionen auch der neuesten Zeit berücksichtigt wurden, so kann vorliegendes Buch nicht allein dem nichtfachmännischen Benutzer einer Röntgen-Einrichtung zur Orientierung dienen, sondern auch, wie ich hoffe, dem Fachmann als Nachschlagebuch auf dem Funkeninduktoren- und Röntgenstrahlen-Gebiete nützlich sein.

Berlin, im Dezember 1903.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Anhang.

Kurzer Überblick über die Grundzüge der Röntgentechnik des Arztes von Dr. Carl Bruno Schürmayer-Hannover.

Erstes Kapitel.

Einleitung.

Obwohl es bis heute noch nicht gelungen ist, eine allgemein gültige Theorie der Funkeninduktoren aufzustellen, welche die Berechnung der günstigsten Verhältnisse bei der Konstruktion ermöglicht, und die empirische Methode bei dem Bau dieser Apparate noch vorherrscht, so sind doch, namentlich mit der Technik der Röntgenstrahlen, eine Reihe von Vervollkommnungen herbeigeführt worden, die in der mechanischen Durchbildung der Induktoren, besonders in der Verminderung der Größe und des Gewichts derselben, bei gleichzeitiger Erhöhung des Nutzeffekts durch bessere Isolation, bestehen. Durch Verwertung der in der Transformatorentechnik gesammelten Erfahrungen haben die Funkeninduktoren den Charakter eines Laboratoriuminstrumentes verloren, sie werden in der Praxis vielseitig angewendet und genügen denselben Anforderungen, welche man an die Erzeugnisse der Maschinentechnik zu stellen gewöhnt ist. Durch die Einführung des Starkstromes und die Erfindung der Flüssigkeitsunterbrecher sind die Funkeninduktoren auf eine Leistungsfähigkeit gebracht worden, die man noch vor einem Jahrzehnt nicht für möglich gehalten hätte. Es ist deshalb von allgemeinem Interesse, die Konstruktion der heutigen Funkeninduktoren, der Unterbrecher und sonstigen Nebenapparate kennen zu lernen, um diese Kenntnis beim Betrieb derselben nützlich zu verwerten.

Ehe wir jedoch auf die Konstruktion der in Frage kommenden Apparate eingehen, möchten wir einen kurzen historischen Rückblick geben, um auch dem Laien das Verständnis für dieselben zu erschließen.

In der langen Reihe bedeutungsvoller Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrizität, die zu dem großartigen Aufschwunge der modernen Elektrotechnik die Wege geebnet haben, leuchten einzelne Leistungen genialer Forscher besonders hervor, und unter diesen stehen wiederum die Arbeiten

von Michael Faraday obenan, den man mit Recht als den »Vater der Elektrotechnik« bezeichnet hat. Er entdeckte nämlich (1832) jenen geheimnisvollen Vorgang der elektrischen Induktion, der es uns ermöglicht, Elektrizität durch mechanische Kraft zu erzeugen, die menschliche Stimme durch einen Leitungsdraht nach entfernten Orten zu übertragen und gewaltige Naturkräfte fern von ihrem Entstehungsorte in den Dienst der Menschheit zu zwingen. Die elektrische Induktion eines galvanischen Stromes ist es auch, auf der alle Funkeninduktoren, mit denen wir uns im folgenden beschäftigen wollen, beruhen, und es ist deshalb notwendig, uns das Wesen dieser Induktion klar zu machen.

1. Elektroinduktion.

Schickt man durch einen die Elektrizität leitenden Körper, z. B. einen Metalldraht, der in Form einer Spirale aufgewickelt ist, einen galvanischen Strom, so machen sich in der Nähe dieser Spirale elektromagnetische Wirkungen bemerkbar, die so lange anhalten, als der Strom die Spirale durchfließt. Von diesen elektromagnetischen Wirkungen soll hier zunächst nicht die Rede sein. Es zeigt sich aber noch eine zweite Klasse von Erscheinungen, die nur in den Momenten auftreten, in welchen der durchfließende Strom sich ändert, also wenn er stärker oder schwächer wird, wenn er beginnt oder aufhört, oder wenn sich seine Richtung umkehrt; in allen diesen Fällen entsteht in einem benachbarten Leiter, z. B. in einer zweiten, die erste nirgends berührenden Spirale, ein momentaner elektrischer Strom, den man Induktionsstrom nennt. Dieser Induktionsstrom ist bei Stromschluß oder einer Stromzunahme des erregenden Stromes, den man auch Hauptstrom, induzierenden oder primären Strom zu nennen pflegt, diesem letzteren entgegengesetzt gerichtet (Fig. 1), bei Stromöffnung dem Hauptstrome gleich gerichtet (Fig. 2). — Je größer die Stromänderung im primären Stromkreise ist, oder je schneller diese Änderung erfolgt, desto kräftiger ist der Induktionsstrom, d. h. eine um so höhere Spannung besitzt er.

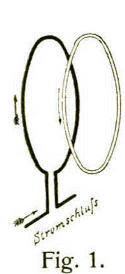


Fig. 1.

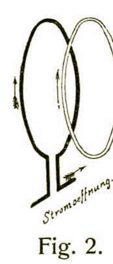


Fig. 2.

2. Unterbrecher.

Um in dem sekundären Stromkreise eine schnelle Aufeinanderfolge abwechselnd entgegengesetzt gerichteter Induktionsströme zu erhalten, hat man nur dafür zu sorgen, daß der primäre Strom sich schnell ändert. Während man in der Elektrotechnik bei den Transformatoren dies durch Anwendung von Wechselströmen erreicht, bedient man sich für den gleichen

Zweck beim Betriebe von Induktionsapparaten fast ausschließlich unterbrochener Gleichströme.

Zur schnell aufeinander folgenden Unterbrechung der Gleichströme wendet man selbsttätige Unterbrechungsvorrichtungen an, kurz »Unterbrecher« genannt, deren einfachste und älteste Form der Wagnersche Hammer ist (Fig. 3).

Der Strom geht von der Betriebsbatterie durch die um einen Eisenkern gewickelte Primärspule in den Anker einer mit Platinkontakt versehenen Blattfeder *F* und durch die Platinspitze einer Stellschraube *S* zur Batterie zurück. Da beim Stromdurchgang durch die Spule der Eisenkern magnetisch wird, wird der Anker angezogen und dadurch der Strom an der Platinspitze der Stellschraube unterbrochen. Nunmehr erlischt die Magnetisierung des Eisenkerns, die Feder mit dem Anker geht in ihre frühere Lage zurück und der Strom wird von neuem geschlossen. Dieses Spiel wiederholt sich in Zeiten, die der Schwingungszahl der Feder entsprechen.

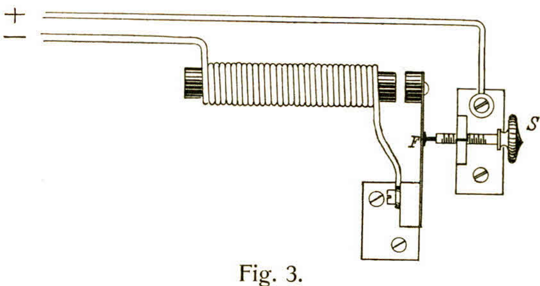


Fig. 3.

3. Elektromagnetische Induktion, Induktionsapparat.

Denkt man sich um die den Eisenkern umgebende primäre Spule eine zweite, sekundäre Wicklung gelegt, so entstehen in dieser wechselstromartige Induktionsströme, und der Apparat stellt den Grundtypus aller Induktionsapparate (Fig. 4) dar; seine Leistung würde aber eine sehr geringe sein, weil bei ihm noch einige wesentliche Punkte unberücksichtigt blieben.

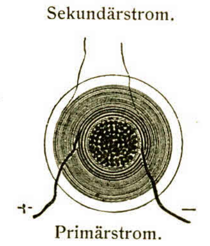


Fig. 4.

4. Selbstinduktion, Extraströme.

Der primäre Strom erregt nämlich bei seinem Beginn und seinem Aufhören nicht nur in der sekundären Spulenwicklung Induktionsströme, sondern auch in den primären Windungen, da jede einzelne Windung der primären Spule induzierend auf die benachbarten Windungen wirkt. Man nennt dies Selbstinduktion und die dadurch hervorgerufenen Ströme Selbstinduktions- oder nach Faraday: Extraströme.

Natürlich sind diese Extraströme, wie die Induktionsströme in benachbarten Leitern, beim Stromschlusse dem Hauptstrome entgegengesetzt ge-

richtet, d. h. sie schwächen den beginnenden Hauptstrom, und sie sind dem abreißenden Strome gleichgerichtet, d. h. sie verstärken den Hauptstrom im Augenblicke seines Aufhörens. Es ist klar, daß diese, den Hauptstrom in seinen Änderungen verlangsamenden Selbstinduktionsströme, der Erzeugung kräftiger Induktionsströme in einer sekundären Wicklung hinderlich sein müssen. Beim Beginn des Hauptstromes läßt ihn der Extrastrom nicht plötzlich, sondern nur allmählich zur vollen Stärke ansteigen, und beim Abbrechen des Hauptstromes sucht ihn der gleichgerichtete Extrastrom zu verlängern. Zur Erzeugung kräftiger Induktionsströme ist aber, wie wir gesehen haben, eine möglichst schnelle Änderung notwendig.

5. Kondensator.

Um diese schädigenden Wirkungen der Selbstinduktionsströme abzuschwächen, wird parallel zum Hauptstrome an der Unterbrechungsstelle ein Kondensator geschaltet. Dieser Kondensator besteht aus genügend großen, zwischen Papierblätter gelegten Stanniolstreifen, die den Extrastrom aufnehmen.

6. Vorgänge in einem Induktionsapparat.

Die Vorgänge in der Hauptrolle sind demnach beim Öffnen und Schließen des Primärstromes wesentlich verschiedene. Während die Stromstärke beim Schließen erst allmählich zu ihrer vollen Stärke anwächst, sinkt sie beim Öffnen des Hauptstromes fast plötzlich auf Null. Da nun die Spannung der Induktionsströme von der Schnelligkeit der Hauptstromänderung abhängt, so ist bei gleicher Elektrizitätsmenge der Verlauf des sekundären Öffnungsstromes auf eine äußerst kurze Zeit zusammengedrängt, wogegen der Schließungs-Induktionsstrom eine beträchtlich längere Dauer besitzt. Daher hat der Öffnungs-Induktionsstrom (vergl. die Kurve, Fig. 5), als der schneller verlaufende, eine bedeutend höhere Spannung und übt viel stärkere physiologische Wirkungen aus als der Schließungs-Induktionsstrom.

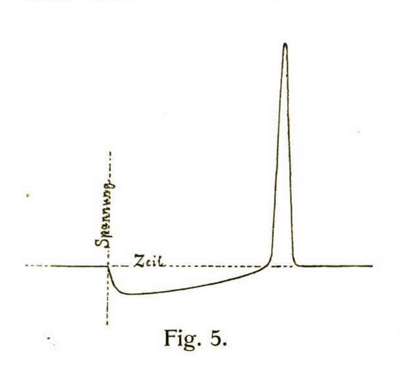


Fig. 5.

7. Eisenkern.

Einen ferneren Einfluß auf das Entstehen kräftiger Induktionsströme hat der in der primären Spule anzubringende Eisenkern. Durch das Vorhandensein von weichen Eisenmassen wird die Induktionswirkung insofern

gesteigert, als zu der Wirkung des geschlossenen und geöffneten Hauptstromes noch die induzierende Wirkung des Entstehens und Vergehens eines Elektromagneten in der sekundären Spule hinzukommt. Beide Induktionen finden gleichzeitig statt und beide erzeugen gleichgerichtete Induktionsströme, so daß sich dieselben verstärken.

8. Wirbelströme.

Dieser nützliche Einfluß des Eisenkerns wird aber zum Teil durch eine andere, von ihm ausgehende schädigende Wirkung wieder aufgehoben. Auch in dem Eisenkern werden nämlich beim Öffnen und Schließen des Hauptstromes Induktionsströme hervorgerufen, sogenannte Wirbelströme, die den Eisenkern in umgekehrter Richtung zu den induzierenden Strömen umfließen (vergl. Fig. 6), somit das Anwachsen und Abfallen des primären Stromes und das Anwachsen und Verschwinden des Magnetismus verzögern, wodurch, wie wir gesehen haben, die Dauer der in der sekundären Rolle

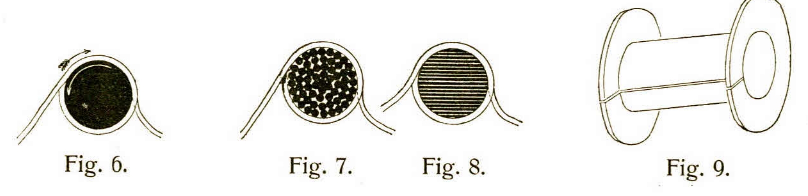


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

entstehenden Induktionsströme verlängert, und zwar nicht die Menge, wohl aber die Spannung der Elektrizität in der sekundären Wicklung herabgesetzt werden würde. Um diese nachteilige Wirkung zu vermeiden, wird der Magnetkern nicht aus einem massiven Stück Eisen, sondern aus einer großen Anzahl dünner Stäbe, sei es aus Draht oder Blech, hergestellt (vergl. Fig. 7 und 8). Diese Stäbe müssen auf irgend eine Weise vor ihrer metallischen Berührung geschützt werden. Man überzieht sie mit Firnis oder Schellacklösung und legt zwischen die Blechstreifen Papier, um das Entstehen der Wirbelströme zu verhindern. Wird zur Wicklung der Spule eine Hülse mit Randscheiben benutzt, so muß diese aus einem nichtleitenden Material: Holz, Pappe, Hartgummi oder Stabilit hergestellt werden, oder, wenn durchaus eine Metallröhre dazu verwendet werden soll, so muß diese, um Wirbelströme unmöglich zu machen, der Länge nach aufgeschlitzt werden (Fig. 9).

9. Prinzip der Transformatoren, Induktionsapparate und Funkeninduktoren.

Die Spannung und Intensität der Induktionsströme in der sekundären Spule ist fernerhin abhängig von dem Verhältnis der Anzahl der

Windungen der sekundären Spule zur primären. Angenommen, es würde durch den Betriebsstrom in der primären Spule, in einem ihr genäherten, geschlossenen Drahtringe ein Strom von der elektromotorischen Kraft e induziert. Ist der Widerstand im Ringe $= w$, so ist nach dem Ohmschen Gesetz die Induktionsstromstärke in dem Ringe $i = \frac{e}{w}$. Denken wir uns nun den Drahtring der Länge nach in n gleiche Teile gespalten oder durch n Drähte vom Querschnitt $\frac{1}{n}$ des ersten Drahtes ersetzt (vergl. Fig. 10), so ist in jedem dieser Ringe der Widerstand $= nw$, die induzierte Stromstärke $\frac{i}{n} = \frac{e}{nw}$. Schaltet man nun diese n Ringe (vergl. Fig. 11) hintereinander, so bilden sie eine Drahtspule, und es addieren sich alle in den einzelnen Windungen induzierten elektromotorischen Kräfte $= ne$, während der Widerstand in demselben Verhältnis zunimmt $= n \cdot nw = n^2 w$. Die Stromstärke in dieser sekundären Spule wäre somit $= \frac{ne}{n^2 w}$ oder $\frac{e}{nw}$, dies ist aber $= \frac{i}{n}$.

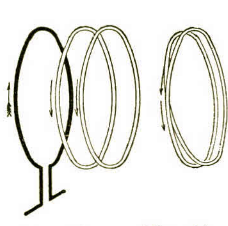


Fig. 10. Fig. 11.

Während also die Spannung des induzierten Stromes mit der Anzahl der Windungen in der sekundären Spule wächst, nimmt die Stromstärke in demselben Verhältnis ab. Das Produkt aus der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke bleibt immer dasselbe. Man kann daher mit einem und demselben Stromkreise Induktionsströme von beliebig gesteigerter elektromotorischer Kraft erzeugen, wobei aber ihre Stromintensität in dem gleichen Verhältnis vermindert wird.

Die in der sekundären Spule erzeugte elektromotorische Kraft ist dem Verhältnis der Windungszahl von primärer und sekundärer Spule direkt proportional.

Da nun die Induktionsapparate dazu dienen sollen, die ihnen zugeführte Energiemenge von großer Stromstärke und niedriger Spannung in die Form von geringer Stromstärke und hoher Spannung zu verwandeln, so wird ein solcher Apparat aus einer über ein Eisendrahtbündel gewickelten Spule aus wenigen Windungen eines dicken Drahtes, als Primärspule, und einer darüber gewickelten sekundären Spule aus sehr vielen Windungen eines gut isolierten dünnen Drahtes bestehen müssen.

Der primäre Draht muß dick sein, damit er dem Strom einen möglichst kleinen Widerstand entgegensetze, die Windungszahl gering, damit

die Selbstinduktion möglichst klein ausfalle, doch andererseits nicht zu gering, damit der Eisenkern noch genügend stark magnetisiert werde. In der richtigen Abschätzung dieser in entgegengesetzem Sinne wirkenden Verhältnisse besteht die Schwierigkeit der Konstruktion eines guten Induktors. Dazu kommt die Rücksicht auf den Preis; denn die Spannung des Sekundärstromes ist zwar proportional der Windungszahl in der Sekundärspule, letztere aber nicht proportional mit den Kosten. Denn die äußeren Lagen erfordern wegen des größeren Umfanges bedeutend mehr Draht als die inneren, und der feine mit Seide besponnene Draht ist ziemlich teuer. Nicht in der Aufwicklung einer möglichst dicken Spule besteht die Kunst, einen Induktor von einer gewissen Schlagweite herzustellen, sondern im Gegenteil in der sparsamen Verwendung des Materials.

10. Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Funkeninduktoren.

Es muß hier gesagt werden, daß es nicht angängig ist, die Leistungsfähigkeit eines Funkeninduktors nach seiner Schlagweite allein zu beurteilen. Einen Dampfkessel beurteilt man hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit nicht allein nach seinem Dampfdruck, sondern auch nach der von ihm erzeugten Dampfmenge; beide zusammen betrachtet, ergeben ein Bild seiner Leistung. Bei einem Wasserrade kommt es nicht nur auf die Höhe des Gefälles, sondern auch auf die pro Zeiteinheit herunterkommende Wassermenge an. Genau so ist es bei einem Induktor: nicht allein auf die Spannung der Elektrizität, über welche die Schlagweite einen Anhalt bietet, kommt es an, sondern auch auf die gelieferte Stromstärke, d. h. ob der Apparat dünne oder dicke Funken gibt. Nur das Produkt aus Spannung und Stromstärke, oder die Energiemenge ist für die Beurteilung der Leistung eines Induktionsapparates maßgebend.

11. Nutzeffekt von Induktoren.

Theoretisch müßte die dem Induktor zugeführte Energie gleich der vom Induktor gelieferten Energie sein, wenn nicht unvermeidliche Verluste, hauptsächlich durch Verwandlung eines Teils der Energie in Wärme, eintreten würden. Daß diese Verluste möglichst klein seien, ist das bei der Konstruktion zu erstrebende Ziel. Bei einem guten Induktionsapparat ist der Verlust an Energie verhältnismäßig gering, größere Verluste entstehen durch die notwendigen Widerstände und die Unterbrecher, durch welche der Nutzeffekt oft bis auf 25 % herabgesetzt wird.

12. Einteilung der Apparate.

Je nach dem Zweck, dem die Induktionsapparate dienen sollen, ist ihre Konstruktion und ihre Größe sehr verschieden. Die kleinsten Apparate, die meist ärztlichen Zwecken dienen, sollen nur schwach gespannte Ströme liefern, sie besitzen deshalb keinen Kondensator und keine Vorrichtung zum Überspringen von Funken. Dies ist erst bei den größeren Apparaten der Fall, die man deshalb auch als »Funkeninduktoren« bezeichnet. Diese liefern Elektrizität in ganz beträchtlichen Spannungen, so daß die Funken Entfernungen von 1 cm bis zu 1 m Entfernung in der Luft überbrücken. Diese hohen Spannungen machen dann eine äußerst sorgfältige Isolation an allen Teilen des Apparates, namentlich innerhalb der sekundären Spulenwindungen notwendig, und werden wir darauf bei den Beschreibungen der Apparate speziell eingehen.

Zweites Kapitel.

Physiologische Induktionsapparate.

1. Zweck, allgemeine Angaben.

Die kleinen Induktionsapparate dienen, wie bereits erwähnt, ärztlichen Zwecken und wird von ihnen nur eine geringe Spannung des Induktionsstromes verlangt. Die primäre Spule besteht meist aus zwei Lagen oder 100 bis 800 Windungen eines 0,6 bis 1 mm dicken Kupferdrahtes, der mit Baumwolle besponnen ist und 1 bis 5 Ohm Widerstand hat. Die sekundäre Spule enthält 3000 bis 10000 Windungen eines 0,1 bis 0,2 mm dicken, doppelt mit Seide besponnenen Kupferdrahtes. Der Strom wird von 1 bis 2 Chromsäure- oder Salmiakelementen geliefert und erzeugt die Induktionsspule dann Spannungen von 10 bis 500 Volt.

Wir wollen die Einrichtung eines einfachsten Apparates dieser Art an einem Beispiel kennen lernen.

2. Bau eines kleinen Induktionsapparates.

Die kleinen Induktionsapparate geben einen verhältnismäßig niedrig gespannten Sekundärstrom und dienen zum Elektrisieren des menschlichen Körpers (Faradisation). Sie bestehen aus einer primären Spule mit Eisenkern, einem Stromunterbrecher meist in Form des Wagnerschen Hammers (Fig. 3) und einer sekundären Spule. Ein solcher Apparat wird wie folgt aufgebaut:

Aus $^1/_2$ bis $^3/_4$ mm dicken Eisendrähten wird der Eisenkern hergestellt. Diese Drähte müssen gut geglüht und genau gerade gerichtet sein. Beide Manipulationen lassen sich vereinigen, indem man ein 1 bis 2 m langes Drahtende an seinem einen Ende aufhängt und am andern Ende mit einem Gewicht von etwa 2 kg belastet. Mit einer Bunsen-

flamme macht man dann, von unten anfangend und langsam mit der Flamme steigend, den Draht glühend. Es ziehen sich dann alle Knicke und Biegungen aus dem Draht heraus, und man erhält nach dem Erkalten einen vollkommen geraden und zugleich gut geglühten Draht. Diesen schneidet man in 72 mm lange Stücke, und zwar so viele, daß man davon ein 12 mm dickes Bündel machen kann. Die einzelnen Stäbchen werden mit einer Auflösung von Schellack in 90grädigem Spiritus (Tischlerpolitur!) gestrichen und getrocknet. Nunmehr werden sie in eine Papierrolle von 12 mm innerem Durchmesser und 60 mm Länge, die man durch Umwickeln eines mit Leim bestrichenen Papierstreifens um eine 12 mm dicke Holzwelle herstellt, geschoben.

Auf diese Papierrolle mit Eisenkern windet man fest 52 Windungen eines 0,6 mm dicken, mit Baumwolle oder Seide doppelt umsponnenen Kupferdrahtes in einer Lage und darüber eine zweite Lage, so daß beide Enden des Drahtes an einer Seite der Rolle zu liegen kommen. Die primäre Spule unseres Induktionsapparates ist damit fertig, ihr äußerer Durchmesser wird 18 mm betragen (Fig. 12).

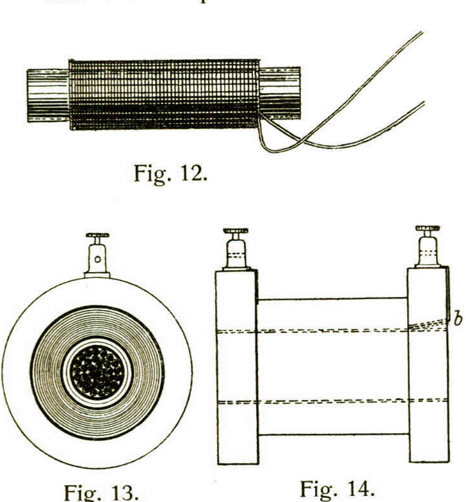


Fig. 12.

Fig. 13. Fig. 14.

Zur sekundären Spule wickelt man aus einigen Lagen geleimten Papiers eine zweite Hülse um einen 18 mm dicken Holzstab. Die innerste Lage wird nicht mit Leim bestrichen, damit man die Hülse, nachdem sie getrocknet ist, von der Holzwelle abziehen kann. Die Dicke der Hülse in ihrer Wandung braucht nur 1 mm zu betragen. Auf die Enden dieser 60 mm langen Hülse leimt man je eine 10 mm dicke, 50 mm im Durchmesser große, von hartem Holz gedrehte Scheibe. Man erhält dann eine Spule, wie Fig. 14 zeigt. Man kann sich diese Spule auch ganz von Holz drechseln, nur muß die Hülse recht dünnwandig sein. Auf diese Spule werden 120 m eines mit Seide besponnenen Kupferdrahtes von 0,15 bis 0,2 mm Dicke aufgewickelt. Mit der Hand diesen Draht aufzuwickeln macht Mühe, leichter ist dies auf einer Drehbank auszuführen. Man wickelt den Draht lagenweise und dicht aneinander. Zwischen je zwei Lagen kommt eine Hülle in Paraffin getränkten Postpapiers. Den Anfang des Drahtes, also das innere Ende desselben, führt man durch eine

Bohrung *b* (Fig. 14) nach außen und befestigt es mit einer Klemmschraube. Das äußere Ende befestigt man an der Klemme auf der anderen Scheibe. Um die Drähte zu schützen, bringt man über denselben eine Hülle von schwarzem Lackleder oder Wachstuch an. Nun ist auch die sekundäre Spule fertig (Fig. 13/14).

Es wird nunmehr die primäre Spule durch eine Bohrung in der Mitte eines 100 mm im Quadrat großen Brettchens gesteckt und darin rechtwinklig stehend an einem Ende befestigt. Dieses Brettchen wird mittels zweier Holzschrauben auf einem Grundbrett festgeschraubt, auf dem noch die Einrichtung eines Wagnerschen Hammers (vergl. Fig. 3) und zwei Polklemmen angebracht werden. Die eine Klemme wird mit einem Kupferdraht mit der Platinkontaktschraube verbunden, die beiden Enden der primären Spule mit der Hammerfeder bezw. der andern Polklemme. In die Klemmen der Sekundärspule werden biegsame Schnüre mit Kupferlitzeneinlage von etwa 1 m Länge befestigt, deren andere Enden zwei messingne Handhaben tragen.

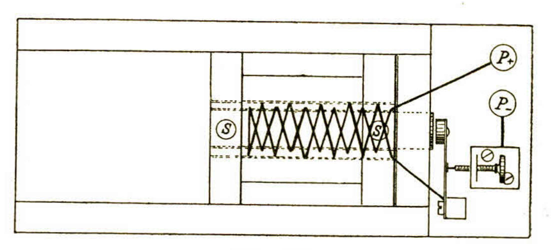


Fig. 15.

Werden nun die beiden Polklemmen auf dem Grundbrett mit den Polen eines Elementes verbunden, und ist die Stellschraube mit dem Platinkontakt so weit vorgedreht, daß sie das Kontaktstück der Hammerfeder berührt, so beginnt der Apparat mit summendem Geräusch zu arbeiten und man kann die Wirkung der sekundären Ströme gewahren, wenn man die beiden messingnen Handhaben getrennt in die Hände nimmt und die sekundäre Spule auf die primäre hinaufschiebt. Die Induktionsströme sind um so kräftiger, je weiter man die sekundäre Spule hinaufschiebt, sie werden schwächer, je mehr man sie davon abzieht. Um diese Verstellung und Einstellung der sekundären Spule besser bewirken zu können, ist es zweckmäßig, auf dem Grundbrett zwei Führungsleisten anzubringen und die Sekundärspule auf einem Schlitten zu befestigen, der zwischen den Leisten sich leicht verschieben läßt. Man hat dann einen Schlittenapparat, wie er in Fig. 15 abgebildet ist und zuerst für physiologische Experimente von Du Bois-Reymond angewendet wurde. Am Schlitten ist ein Zeiger, auf der einen Leiste eine Skala angebracht, um die Induktionsstromstärke danach einstellen zu können.

3. Ausgeführte Apparate.

Einen solchen Apparat der Firma Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen zeigt Fig. 16. Häufig werden für denselben Apparat mehrere Sekundärspulen (aus 0,1 bis 0,6 mm Draht) gefertigt, um die physiologische Wirkung in noch weiteren Grenzen variieren zu können. In Fig. 17 ist ein ähnlicher Apparat derselben Firma in der Totalansicht dargestellt. Bei ihm ist die Sekundärspule nicht über die primäre verschiebbar, sondern fest auf dem Grundbrett montiert. Die Primärspule ist in der auf der Hammerseite befindlichen Holzscheibe der Sekundärspule centrisch befestigt. Die Regulierung des Induktionsstromes wird hier durch den Dämpfer bewirkt. Dies ist ein dünnwandiges Metallrohr, das über den Eisenkern oder in den Zwischenraum zwischen Primär- und Sekundärspule geschoben wird. Durch dieses geschlossene Metallrohr, in dem nunmehr Induktionsströme kreisen, werden die in der Sekundär-

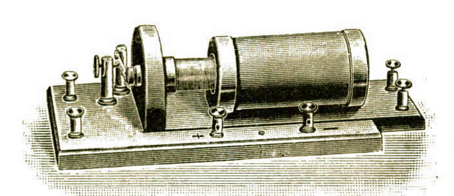


Fig. 16.

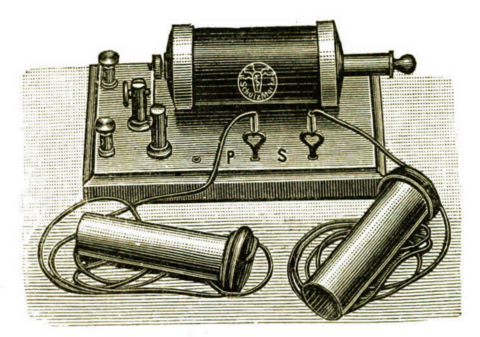


Fig. 17.

spule induzierten Ströme bedeutend geschwächt. Je weiter man daher den Dämpfer einschiebt, desto schwächer werden die gelieferten Induktionsströme.

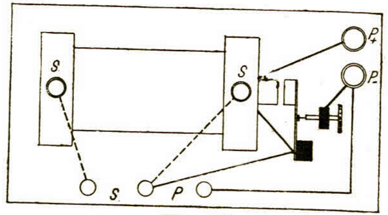
Diese Regulierung kann auch in der Weise erfolgen, daß man den aus einem Bündel Eisendrähte bestehenden Kern in die, natürlich auf eine besondere Hülse oder ein Glasrohr gewickelte, Primärspule mehr oder weniger tief einschiebt. Man kann in diesem Falle erkennen, welch außerordentlich großen Anteil der Elektromagnet an der Entstehung der Induktionsströme hat.

Schließlich kann man eine Regulierung des primären Stromes auch dadurch bewirken, daß man die primäre Wicklung aus mehreren getrennten Lagen herstellt und davon nach Bedarf eine oder mehrere einschaltet. Diese Art der Regulierung wird selten benutzt, häufiger kommt sie bei der sekundären Wicklung zur Anwendung, worauf wir bei den betreffenden Apparaten noch zurückkommen werden.

Die meisten Induktionsapparate werden so eingerichtet, daß sie außer der Benutzung des in der sekundären Spule erzeugten Induktionsstromes auch die Anwendung des Unterbrechungs-Extrastromes gestatten (vergl.

Fig. 18). Die sogenannten Badeapparate benutzen überhaupt nur diesen Extrastrom, sie haben gar keine Sekundärspule und gehören daher eigentlich nicht hierher; der Vollständigkeit wegen mögen sie mit aufgeführt sein.

Fig. 19 stellt einen solchen Badeapparat, von der vorher genannten Firma gebaut, vor. Die primäre Spule ist aus mehreren einzelnen Lagen eines etwa 0,6 bis 0,8 mm dicken Drahtes über einen Eisenkern gewickelt.



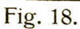


Fig. 18.

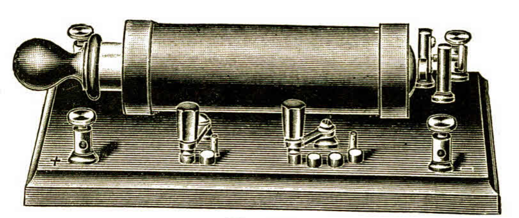


Fig. 19.

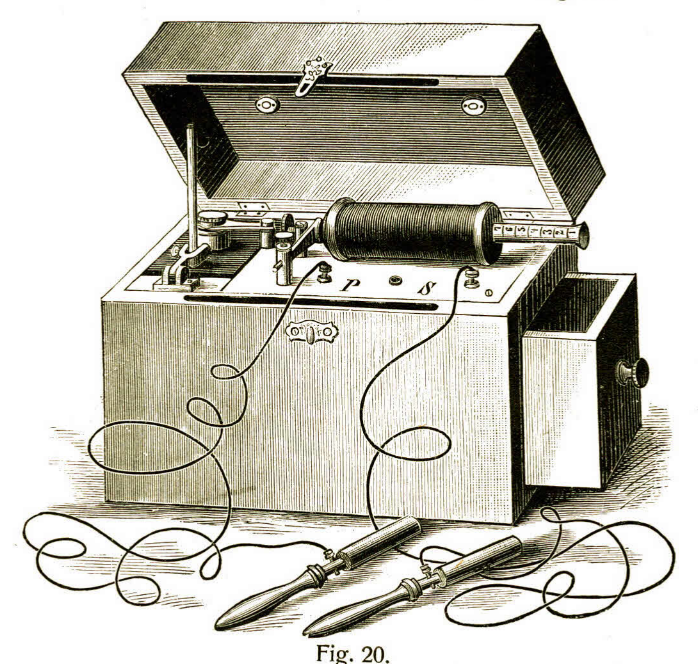


Fig. 20.

Durch einen Kurbelschalter, der über Kontaktknöpfe gleitet, können eine oder mehrere Lagen hintereinander geschaltet werden. Von der Unterbrechungsstelle des Stromes am Wagnerschen Hammer sind Drähte nach den hinteren zwei Klemmen auf dem Grundbrette geführt, von wo der Extrastrom abgenommen werden kann.

In Fig. 20 ist ein Induktionsapparat abgebildet, wie ihn Richard Galle in Berlin liefert. Derselbe enthält die primäre und sekundäre Spule,

Hammerunterbrecher und Betriebselemente in einem Kasten eingebaut und ist deshalb leicht transportabel. Die Regulierung des Induktionsstromes erfolgt durch einen einschiebbaren Eisenkern. Vorn sind drei Stöpselkontakte angebracht, in die die zum Apparat beigegebenen Zubehörapparate mittels biegsamer Leitungsschnüre angeschlossen werden können. Die Einrichtung ist derartig, daß man sowohl den primären Öffnungsstrom als auch den sekundären Induktionsstrom, sowie auch beide zugleich benutzen kann. Die

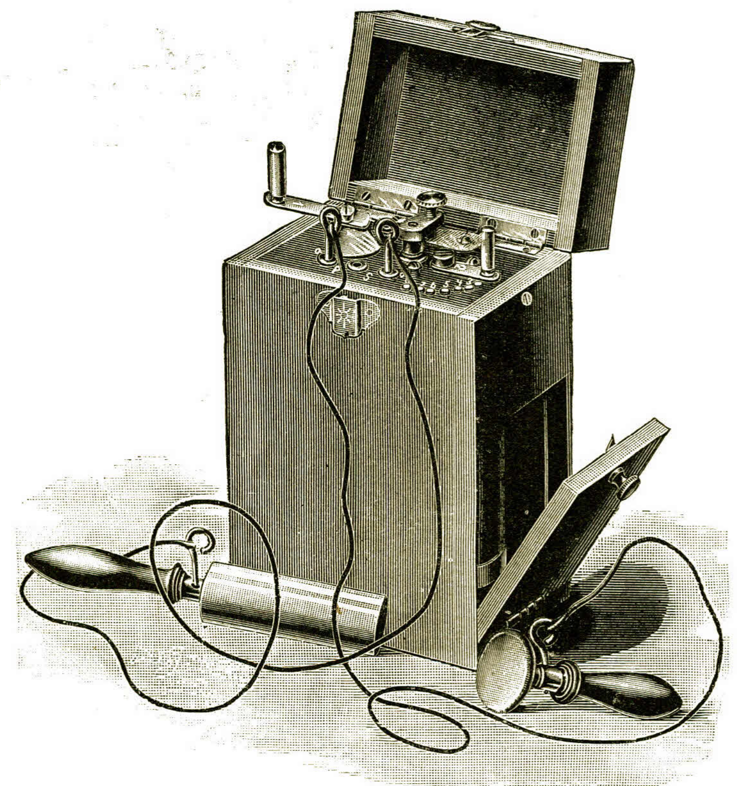


Fig. 21.

hierzu erforderlichen Verbindungen haben wir bereits aus der schematischen Zeichnung Fig. 18 kennen gelernt.

Einen Taschen-Induktionsapparat desselben Fabrikanten zeigt Fig. 21. Derselbe enthält als Betriebsbatterie ein Trockenelement und besitzt zur Stromregulierung eine Schaltkurbel zur Einschaltung einer kleineren oder größeren Anzahl von Sekundärwindungen. Der Strom ist am schwächsten, wenn die Kurbel auf dem Kontakt 1 steht, auf Kontakt 8 am stärksten. Auch dieser Apparat gestattet die Anwendung des primären Öffnungsstromes (Stöpsel *P*) und des sekundären Induktionsstromes (Stöpsel *S*), eventuell auch

die Benutzung des gemischten oder stärksten Stromes (Stöpsel in die Endlöcher *O*), den der Apparat liefern kann.

Als Nebenapparate werden zwei Leitungsschnüre, Hefte und Schwammhülsen, sowie ein Drahtpinsel und eine mit Leder bezogene Elektrode beigegeben. Letztere muß vor dem Gebrauch gut mit Wasser angefeuchtet werden.

Anstatt den Stromunterbrecher, z. B. den Wagnerschen Hammer, direkt

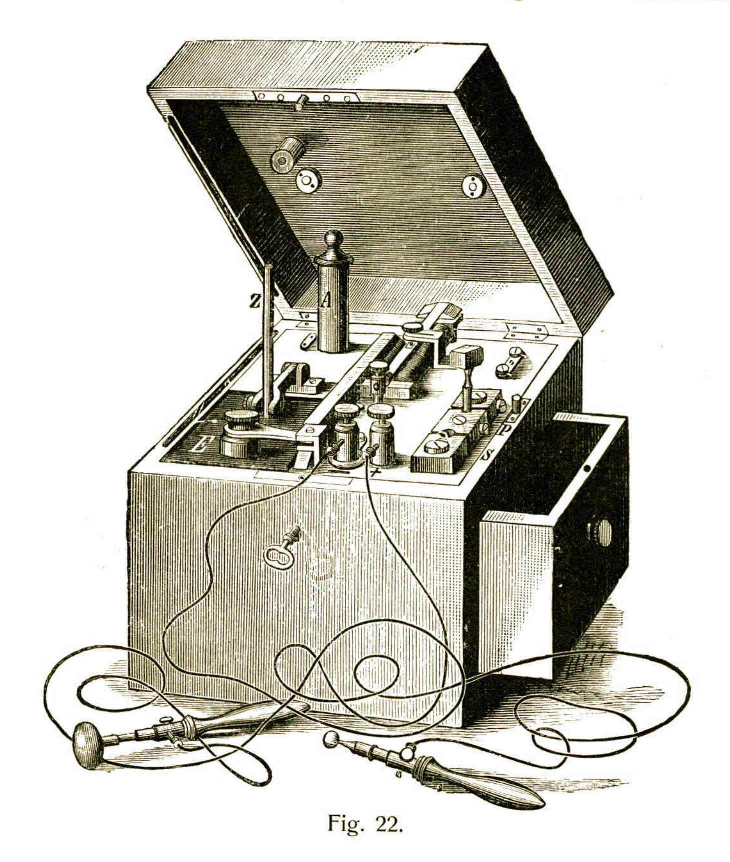


Fig. 22.

mit dem Induktionsapparat zu verbinden und ihn von dem Elektromagneten der primären Spule zu betreiben, kann man denselben auch gesondert anbringen. Dies hat den Vorteil, daß eine Regulierung des primären oder sekundären Stromes auf den Unterbrecher keinen Einfluß ausübt, die Unterbrechungen somit unabhängig von der Stromregulierung gleichmäßig schnell bleiben.

Mit einer derartigen Einrichtung ist der in Fig. 22 abgebildete transportable Induktionsapparat nach Spamer, der von Richard Galle in Berlin, Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen u. a. m. gebaut wird, versehen.

Legt man Wert auf eine besonders große Veränderung der Unterbrechungszahl, die beim Wagnerschen Hammer durch mehr oder minder starkes Anziehen der Kontaktschraube nur in engen Grenzen variiert werden kann, so empfiehlt sich die Anwendung eines Pendel-Unterbrechers.

Bei diesem ist die Hammerfeder durch einen schwingenden Hebel ersetzt, der in einen Zapfen gelagert und durch eine anspannbare Spiralfeder

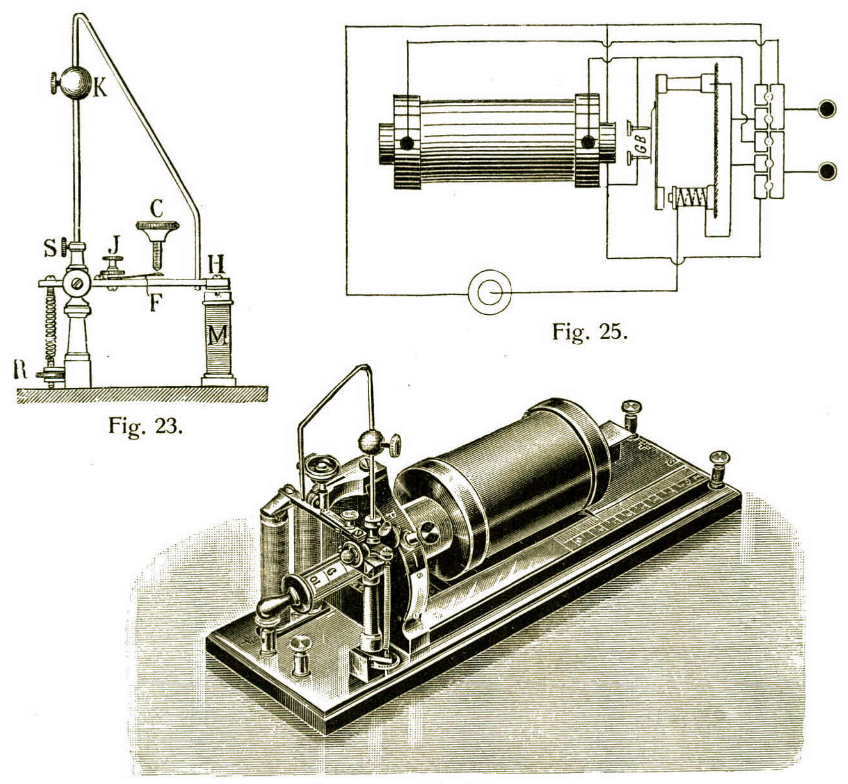


Fig. 23.

Fig. 25.

Fig. 24.

gegen den Platinkontakt gedrückt wird (Fig. 23). Mit diesem Hebel ist eine Stange von Aluminium starr verbunden, auf der sich ein Gewicht verschieben und feststellen läßt. Der Hebel mit dem Gewicht bildet somit ein Pendel, dessen Schwingungszahl sich durch Verschieben des Gewichtes verändern läßt.

In Fig. 24 ist ein Schlittenapparat mit Pendelunterbrecher, wie er von Reiniger, Gebbert & Schall gebaut wird, abgebildet. Bei demselben ist auch noch der Eisenkern in der Primärspule verschiebbar.

Durch die in Fig. 25 angegebene Schaltung ist es möglich gemacht, daß nur gleichgerichtete Sekundärströme zur Benutzung gelangen.

Zu diesem Zweck ist außer der gewöhnlichen Kontaktschraube G noch eine zweite B über der Hammerfeder angeordnet und ein Stöpselumschalter angebracht. Dadurch wird erreicht, daß in einem Falle während der Schließung des primären Stromes die Sekundärspule kurz geschlossen ist, so daß nur der Öffnungsstrom induzierend wirksam bleibt; im zweiten Falle aber die Verbindung des einen Endes der Sekundärspule mit den entsprechenden Ableitungsklemmen erst im Augenblicke des Stromschlusses erfolgt, so daß nur die Schließungs-Sekundärströme zur Wirkung kommen können.

Fig. 26 zeigt einen derartigen Induktionsapparat für gleichgerichtete Sekundärströme nach Dr. Lewandowski. Die sekundäre Spule ist als Schlitten, mittels Zahntrieb verstellbar, der Eisenkern zum Herausziehen, der Unterbrecher mit Pendel.

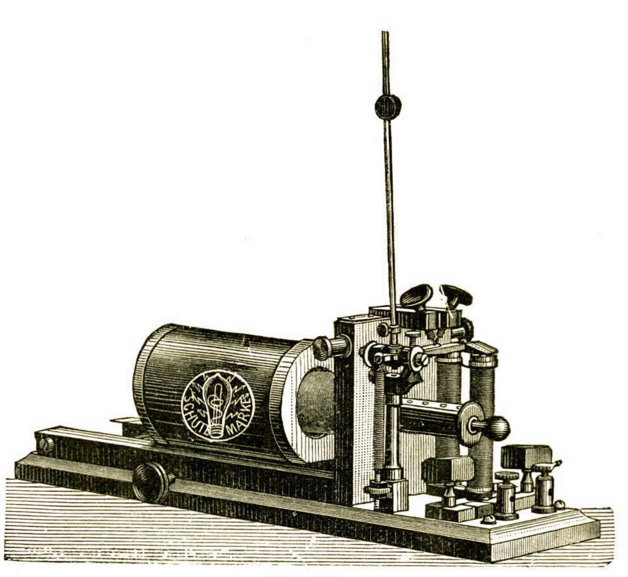


Fig. 26.

Faradimeter sind Induktions-Apparate mit Voltskala für die Sekundärspule. Voraussetzung für die Richtigkeit der Skala ist eine genau gleichbleibende Stromstärke im primären Stromkreise. Diese muß durch einen Rheostaten in Verbindung mit einem Ampèremeter einreguliert werden, deshalb ist die Anwendung der Faradimeter umständlich und wenig gebräuchlich.

4. Stromquellen für den Betrieb der Induktionsapparate.

Zum Betriebe der Induktionsapparate dienen: Primärelemente, Thermosäulen, Akkumulatoren und Anschluß an Gleichstromcentralen.

Von den Primärelementen kommen für diesen Zweck nur Chromsäure-, Leclanché- und Trockenelemente in Betracht.

a) Chromsäure-Tauchelemente sind wegen ihrer hohen elektromotorischen Kraft und ihres geringen inneren Widerstandes besonders zum Betriebe von Induktionsapparaten geeignet. Sie können hierbei in zwei Ausführungsformen zur Verwendung kommen, nämlich als sogenannte

Spamerelemente oder als Grenetsche Flaschenelemente. Die besondere Konstruktion beider wird bedingt durch die Notwendigkeit, das Zink während des Nichtgebrauchs aus der Säure zu entfernen.

Das Spamerelement (Fig. 27) besteht aus einem geschlossenen Glasgefäß, das im Deckel zwei Löcher zur Aufnahme je eines Kohle- und Zinkstabes hat. Die Kohle ist mit Paraffin vergossen, das Zink kann herausgezogen und die Öffnung mit einem Gummipfropfen geschlossen werden, um die Säure beim Transport des Apparates nicht zu verschütten. Die Füllung erfolgt mit Chromsäure und reicht das Element zum Betriebe

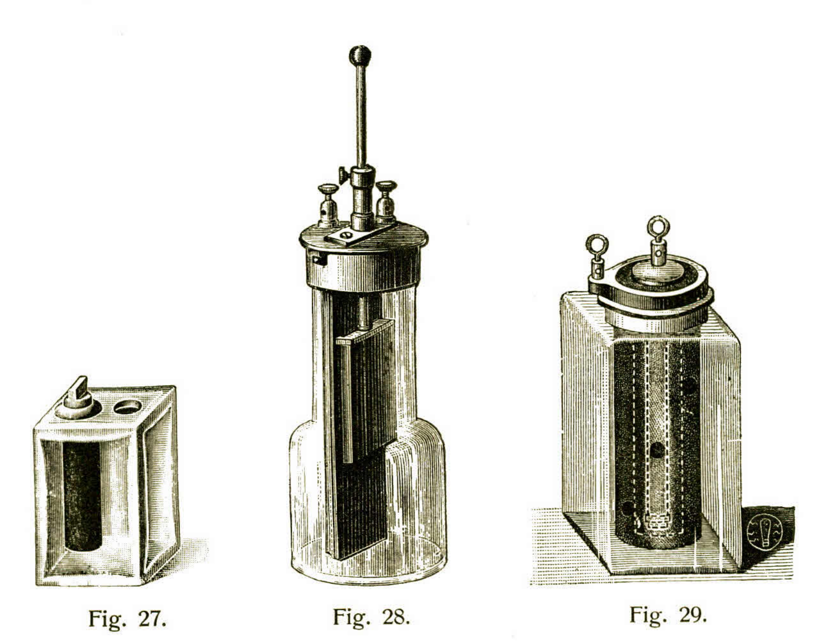


Fig. 27. Fig. 28. Fig. 29.

eines Induktionsapparates auf zwei Stunden aus, dann muß es mit neuer Säure versehen werden.

Das Grenetsche Flaschenelement (Fig. 28) trägt die Kohle fest an dem abnehmbaren Porzellandeckel, das Zink wird beim Nichtgebrauch in die Höhe gezogen, so daß es sich nicht mehr in der Chromsäure befindet, bleibt aber in der Flasche. Die Handhabung ist also bequemer als bei dem vorigen Element; im übrigen gilt bezüglich der Füllung das gleiche.

b) Leclanchéelemente (Fig. 29) haben geringere Spannung als die Chromsäureelemente und werden deshalb immer mehrere hintereinander zu schalten sein. Zink und Kohle tauchen in Salmiaklösung, der Verschluß ist durch Paraffin hergestellt und kann das Zink beim Nichtgebrauch in

der Flüssigkeit bleiben. Sie halten länger vor als die Chromsäureelemente, auch besteht bei ihnen nicht die Gefahr der vorbeitropfenden starken Säure; sie werden bei stationären Apparaten gern angewendet, bei transportablen sind sie zu schwer.

c) Trockenelemente haben eine etwas höhere Spannung als Leclanché-elemente. Bei nicht zu hohen Ansprüchen an die Stärke des Induktionsstromes genügt ein Element zum Betriebe des Induktionsapparates, doch empfiehlt es sich, deren zwei hintereinander zu schalten. Sie sind sehr bequem, infolge Fortfallens der Flüssigkeit sauber und zum Transport recht gut geeignet. Sie werden, nachdem sie erschöpft sind, fortgeworfen und durch neue ersetzt; sie halten jedoch recht lange vor, wenn sie nach dem Gebrauch nicht unnützerweise geschlossen bleiben, vielmehr ausgeschaltet werden. Recht brauchbare Trockenelemente in viereckiger Form und vielen Größen liefern Siemens & Halske in Berlin nach Hellesens Patent (Fig. 30).



Fig. 30.

d) Bei kleinen Taschen-Induktionsapparaten kommen manchmal Quecksilbersulphatelemente zur Anwendung. In einem kleinen zweizelligen Hartgummitrog befindet sich am Boden jeder Zelle eine Kohlenplatte, über die mit geringem Abstand je eine Zinkplatte auf kleinen Hartgummistützen gelagert ist. Für den Gebrauch nimmt man die Zinkplatten heraus, schüttet auf die Kohle in jeder Zelle etwas Queck-

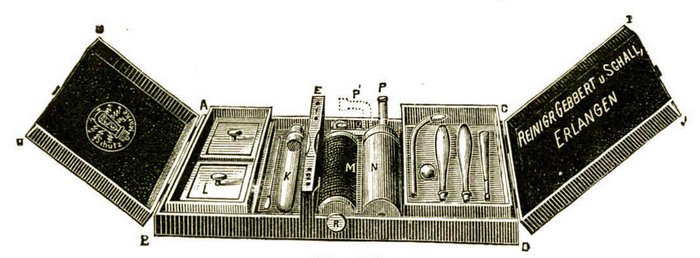


Fig. 31.

silbersulphat und Wasser, so daß die Zinkplatten beim Wiedereinlegen mit ihrer ganzen Fläche die Lösung berühren. Nach Gebrauch ist das Element auszuspülen und abzutrocknen. Fig. 31 zeigt einen mit diesem Element ausgerüsteten Tascheninduktionsapparat nach Gaiffe von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.

e) Thermosäulen geben sehr konstanten Strom, sind bei Gasheizung sofort betriebsfähig, aber nicht transportabel und für Induktionsapparate allein

im Verhältnis zu teuer. Wir werden in einem späteren Kapitel auf dieselben zurückkommen.

f) Akkumulatoren speziell für den Betrieb eines Induktionsapparates anzuschaffen empfiehlt sich nicht, da deren Ladung umständlich und unverhältnismäßig teuer kommt. Sind solche aber für andere Zwecke bereits vorhanden, so sind sie zum Betriebe sehr wohl mit zu benutzen. Sie geben einen sehr gleichmäßigen Strom und sind sehr ausgiebig, für den Transport aber wenig geeignet. Sind dieselben in einen festen Kasten eingeschlossen und zugegossen, so sind meist mehrere hintereinander geschaltet. Beträgt die Spannung mehr als 6 Volt, dann muß vor den Induktionsapparat ein Widerstand geschaltet werden.

g) Anschluß an eine Gleichstromcentrale ist allen anderen

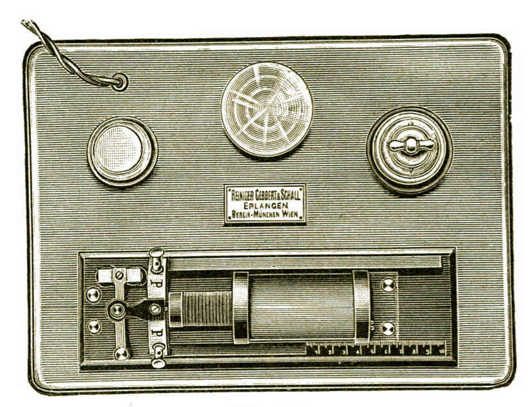


Fig. 32.

Betriebsarten vorzuziehen, da hierbei jede Sorge um die Stromquelle fortfällt. Es muß ein geeigneter Vorschaltwiderstand angewendet werden, der am einfachsten aus einer Glühlampe besteht. Außerdem ist zur Vermeidung starker Funken an den Unterbrecherkontakten ein Nebenschlußwiderstand anzubringen. Fig. 32 zeigt eine derartige Anordnung zum Betrieb eines Induktionsapparates im Anschluß an eine Gleichstromcentrale von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.

5. Störungen an Induktionsapparaten.

Wenn ein Induktionsapparat nicht funktioniert, so liegt der Fehler in den weitaus meisten Fällen an der Stromquelle. Man untersuche deshalb (mit einer elektrischen Klingel), ob das Element noch Strom liefert. Um leicht transportabel zu sein, werden die Elemente sehr klein gemacht, so daß sie häufiger Neufüllung bedürfen. Ist die Chromsäure graugrün

geworden, so ist sie fortzugießen. Zuweilen wird auch vergessen, dem gelösten chromsauren Kali Schwefelsäure zuzusetzen. Kohlen, die schon lange im Gebrauch sind, müssen ausgewechselt werden. Die Berührungsstelle zwischen Zink und der Klemme muß metallisch rein sein, eventuell schabe man sie mit einem Messer blank.

Ist das Element in Ordnung, d. h. gibt es den nötigen Strom, so sehe man den Unterbrecher nach. Die Stellschraube mit dem Platinkontakt soll nie, ohne Ursache zu haben, verstellt werden; der Kontakt soll die Hammerfeder nur leicht berühren. Der Hammer selbst soll etwa 1 mm vom Eisenkern abstehen; tut er das nicht, so ist wahrscheinlich die Feder verbogen und muß vorsichtig in ihre Lage zurückgebogen werden, wozu der Hammer abgeschraubt werden muß. Sollten die Platinkontakte verbrannt sein, was man an ihrer schwarzen Farbe erkennt, so müssen dieselben mit einem Stückchen Schmirgelleinwand blank gemacht werden.

Gibt der Apparat keinen Strom, trotzdem alle diese Dinge in Ordnung sind, so könnten noch die Verbindungen oder die Spulen beschädigt sein. Dies kommt aber selten vor; höchstens wenn reichlich Säure darauf verschüttet wurde, könnten die Verbindungen oxydieren oder die Wicklungen durchfressen sein.

Drittes Kapitel.

Kleine Funkeninduktoren.

1. Zweck, allgemeine Angaben.

Unter einem Funkeninduktor versteht man einen Induktionsapparat, der elektrische Ströme hoher Stromstärke und niederer Spannung in solche sehr hoher Spannung (10000 bis 1 Million Volt) verwandelt, so daß die in der sekundären Spule erzeugten Ströme eine mehr oder weniger große Luftstrecke in Form von elektrischen Funken zu überspringen vermögen. Bei den im vorigen Abschnitte behandelten Induktionsapparaten ist dies im allgemeinen nicht der Fall; die bei ihnen erzielte Spannung ist, wie bereits erwähnt wurde, eine verhältnismäßig geringe. Das Hauptmerkmal für einen Funkeninduktor besteht in der zur Erzeugung der höheren Spannung notwendigen größeren sekundären Windungszahl und der Anwendung eines Kondensators.

In Fig. 33 ist ein kleiner Funkeninduktor im Längsdurchschnitt gezeichnet. Wie man daraus ersieht, ist sein Bau im allgemeinen demjenigen der im vorigen Abschnitt erläuterten Induktionsapparate gleich. Der Eisenkern besteht wie dort aus einem Bündel geglühter Eisendrähte oder dünner Bleche, die Primärwicklung aus zwei bis vier Lagen eines dicken, mit Baumwolle umsponnenen Kupferdrahtes und die sekundäre Wicklung aus vielen Lagen eines dünnen, mit Seide umsponnenen Drahtes; nur sind alle Dimensionen bei den Funkeninduktoren etwas größer als bei den Induktionsapparaten.

Als Unterbrecher dient fast ausnahmslos der Wagnersche Hammer, doch würde sich dafür zweifellos der Vril-Unterbrecher, den wir später kennen lernen werden, besser eignen und in gewissen Fällen auch die einfachen Quecksilber-Unterbrecher anwendungsfähig sein.

Die sekundäre Spule ist gegen die primäre nicht verschiebbar, sondern mit dem Eisenkern in gemeinsamen Spulenwänden befestigt, somit die sekun-

däre Stromspannung nur durch Veränderung der primären Stromstärke regulierbar. Mit den sekundären Klemmen ist ein verschiebbarer Entlader verbunden, zwischen dessen Spitzen die Funken überspringen, wenn die Spieße einander bis auf eine gewisse Entfernung genähert werden. Je größer die Entfernung ist, bei der noch Funken überspringen, desto größer ist die vom Apparat erzeugte Stromspannung.

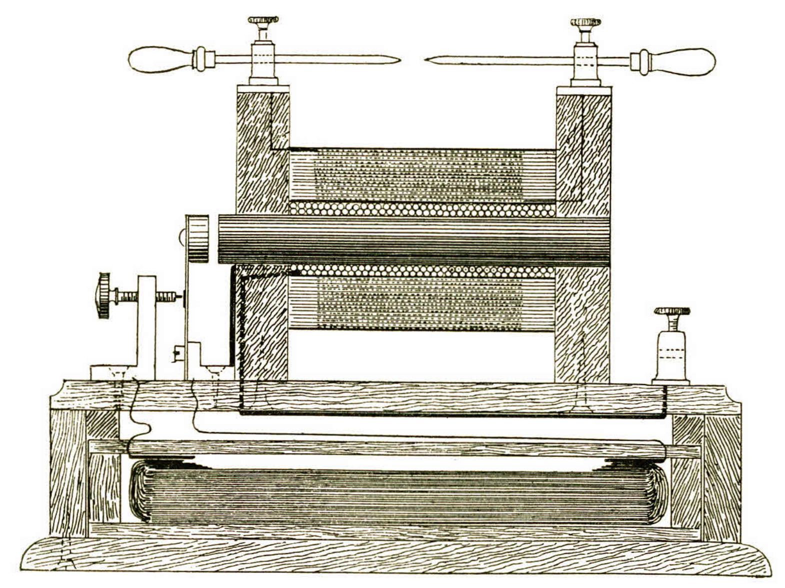


Fig. 33.

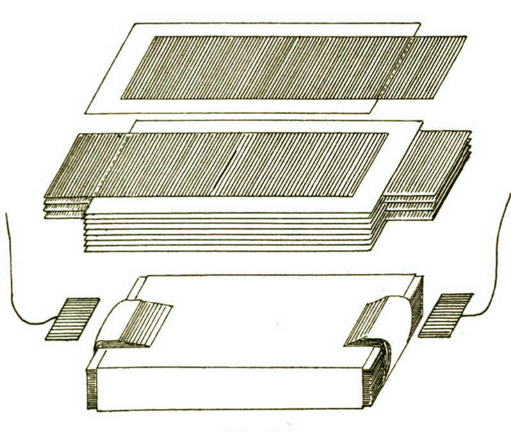
2. Konstruktion und Bau des Kondensators.

Der Funkeninduktor ist auf einem Holzkasten montiert, welcher den Kondensator enthält. Der Kondensator hat den Zweck, den beim Öffnen des Stromes entstehenden Extrastrom (vergl. S. 3) aufzunehmen, wodurch der Primärstrom schneller abreißt und die Induktionsströme kräftiger werden. Außerdem werden dadurch die Unterbrechungsfunken zwischen Platinspitze und Hammerfeder bedeutend abgeschwächt, was zur Erhaltung der Kontakte wesentlich beiträgt.

Der Kondensator, zuerst von Fizeau angewendet, besteht aus einer Anzahl Stanniolstreifen und paraffingetränkter Papierblätter, die abwechselnd übereinander geschichtet sind. Es ist bei der Herstellung nur gutes, festes und neues Schreibpapier zu verwenden, da jedes, auch das kleinste Loch im Papier ein Durchschlagen des Kondensators durch den Extrastrom zur Folge haben würde. Man überzeuge sich deshalb von der Dichte des Papiers

durch Hindurchblicken nach hellem Licht. Das Paraffin wird in einer Pfanne geschmolzen, jedes Blatt, nachdem es gut getrocknet worden ist, einzeln hineingelegt und nach dem Herausziehen abtropfen gelassen. Nach dem Erstarren des Paraffins darf kein Blatt geknickt oder sonstwie beschädigt werden. Auf die genaue Einhaltung dieser Angaben kommt sehr viel an, wenn der Kondensator gut funktionieren soll. Die Stanniolstreifen werden 1 cm länger als die Papierstreifen, letztere dafür 2 cm breiter als die Stanniole geschnitten. Man legt die Stanniole so auf die Paraffinblätter, daß auf drei Seiten ein freier Raum von 1 cm bleibt, auf der vierten Seite aber das Stanniol 2 cm übersteht. Dies Überstehen läßt man abwechselnd rechts und links erfolgen (vergl. Fig. 34).

Es ist durchaus nicht einerlei, wie groß die Stanniolstreifen sind und aus wieviel Blättern der Kondensator zusammengesetzt wird. Zu jedem Funkeninduktor paßt nur eine ganz bestimmte Größe des Kondensators, welche sich außerdem mit den Betriebsverhältnissen, wie z. B. Stromstärke, Unterbrechungszahl etc. ändert. Eigentlich müßte daher die Kapazität des Kondensators variabel sein. Dies ist leider schwer ausführbar; man begnügt sich daher, be den kleineren Induktoren den Kondensator so groß zu machen, daß er für den zugehörigen Funkeninduktor bei mittleren Betriebsverhältnissen die besten Resultate liefert. Dies kann nur durch Ausprobieren gefunden werden und setzt man deshalb den Kondensator zusammen, während der Funkeninduktor unter normalen Verhältnissen im Betriebe gehalten wird. Die Funkenstrecke wird anfänglich mit der Vermehrung der Stanniolstreifen wachsen, sie erreicht bald ein Maximum und nimmt dann, bei einer weiteren Vermehrung der Blätter, wieder ab. Man wird also die beim Maximum der Funkenstrecke gefundene Anzahl Blätter für den Kondensator beibehalten. Einen ungefähren Anhalt gibt die nachstehende Tabelle.


Fig. 34.

Hat man die richtige Größe des Kondensators ermittelt, so preßt man das Päckchen (z. B. unter einer Kopierpresse) fest zusammen und umwickelt es mit einem Streifen festen Packpapiers quer zu dem beiderseits vorstehen-

den Stanniol. Dieses wird zusammengelegt und nach einer von den beiden flachen Seiten auf das Packpapier gebogen. Es berühren sich dadurch sämtliche gradzahlige Stanniolstreifen auf der einen, sämtliche ungradzahligen Stanniolstreifen auf der anderen Seite.

Durch darauf gelegte kleine Weißblechstreifchen, an welche ein Kupferdraht angelötet wurde, werden die beiden Pole des Kondensators gebildet (Fig. 34).

Derselbe wird zwischen zwei ebene, ringsum etwas größere Brettchen gelegt und diese durch Holzschrauben miteinander verbunden. Der so geschützte Kondensator kommt in das den Sockel des Induktionsapparates bildende Kästchen und werden die Poldrähte des Kondensators mit den Teilen des Unterbrechers, an denen die Unterbrechungsfunken entstehen, also einer mit dem Halter der Hammerfeder, der andere mit der Mutter der Stellschraube der Platinspitze, verbunden. Die Verbindung ist zweckmäßig durch federnde Kontakte so auszuführen, daß der Kondensator leicht herausgenommen werden kann.

Tabelle über die Dimensionen kleiner Funkeninduktoren.

Funkenlänge	Grösse der Holzspule mm		Drahtbündel mm		Wicklung				Kondensator	
					Primär		Sekundär		Zahl der Stanniolblätter	Größe der Stanniolblätter mm
mm	Länge	Dicke	Länge	Dicke	Draht	ca. m	Draht	ca. m		
4	55	30	65	10	0,8	3	0,10	350	20	100 × 40
6	80	40	85	12	0,8	4	0,10	400	30	140 × 70
8	100	50	110	14	0,9	5	0,10	500	40	160 × 80
10	120	60	130	16	0,9	5	0,15	600	50	200 × 90
15	140	70	150	17	1,0	6	0,15	1600	60	260 × 100
20	180	90	190	18	1,0	8	0,15	2500	75	300 × 150
30	210	100	220	20	1,0	8	0,20	4000	100	360 × 180
40	260	120	270	22	1,2	8	0,20	5000	120	420 × 200
50	320	140	330	24	1,2	10	0,20	6000	150	500 × 250
60	320	160	330	24	1,2	15	0,20	7000	200	500 × 250

3. Konstruktion und Wicklung der Induktionsrolle.

Die primäre Spule wird aus zwei Lagen doppelt mit Baumwolle besponnenen Kupferdrahtes hergestellt und mit zwei Lagen Paraffinpapier bedeckt. Direkt darauf wird die sekundäre Wicklung angeordnet, und zwar lagenweise, die Windungen dicht aneinander liegend, möglichst gleichmäßig. Man wickelt aber den feinen Draht nicht in der ganzen Länge der Spule, sondern bleibt von jeder Seite 8 bis 15 mm ab. Bei den kleinsten Funkeninduktoren, etwa bis zu 15 mm Schlagweite, genügt es, zwischen je zwei

Lagen Draht eine Lage Paraffinpapier zu legen, bei den größeren wird der Draht beim Aufwickeln durch eine Schale mit geschmolzener Isoliermasse unter einer Glasstange hindurchgezogen (Fig. 35). Diese Masse besteht aus gleichen Gewichtsteilen Harz (dieses ist zuerst zu schmelzen!) und Wachs, dem etwas venetianischer Terpentin zugesetzt wird, oder aus zwei Teilen Harz, einem Teil Wachs und einem Teil Paraffin.

Der durch die heiße Masse gezogene Draht passiert eine mit Leder überzogene Klemme, die alle überflüssige Masse abstreift und in den Schmelztiegel zurücktropfen läßt. Die Drehung der Spule muß ganz gleichmäßig erfolgen, weil sonst der feine Draht leicht reißt.*) Ist der Draht gerissen, so werden die beiden Bruchenden mit einem Stückchen grober Schmirgelleinwand blank gemacht, zusammengedreht und verlötet. Das Löten erfolgt mit einem ganz kleinen Lötkolben mittels Zinn. Beim Löten darf kein säurehaltiges Lötwasser benutzt werden, weil sonst der Draht mit der Zeit durchfressen und die Spule unbrauchbar werden könnte. Man bediene sich des Lötfettes oder Kolophoniums. Zur Kontrolle darüber, ob der Draht auch intakt oder vielleicht zerrissen ist, bedient man sich eines Galvanometers, das mit dem Anfang des Drahtes auf der zu wickelnden Spule und dem Ende auf der Vorratsspule in einen Stromkreis eingeschaltet wird. Eine Isolation der einzelnen Lagen durch zwischengelegtes Papier ist im allgemeinen nicht nötig, vielmehr werden die einzelnen Lagen bei den kleineren Apparaten direkt übereinander gewickelt und kleben durch die Isoliermasse fest zusammen. Will man Papier dazwischen legen, so geschieht es mehr aus dem Grunde, immer hübsch gleichmäßige, volle Lagen zu bekommen, als wegen der besseren Isolation. Jede folgende Lage muß, wenn kein Zwischenlegepapier benutzt wird, immer etwas kürzer sein als die vorher-

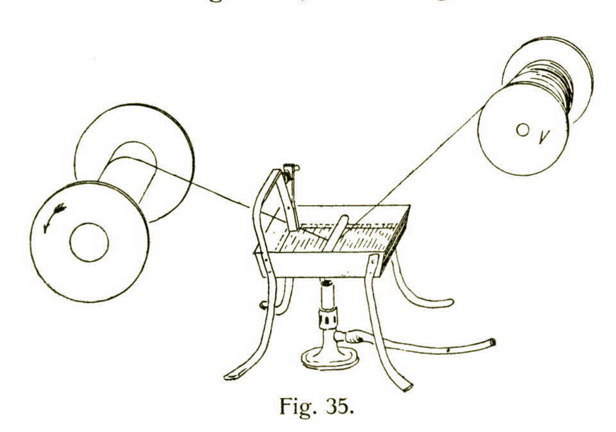


Fig. 35.

*) Bei einer etwas ungleichförmigen Geschwindigkeit (z. B. beim Wickeln auf einer Fußtrittdrehbank) empfiehlt es sich, die Vorratsspule nicht auf einen festen Dorn, sondern einem starken Bindfaden, der durch die Bohrung der Spule gesteckt wurde, so aufzuhängen, daß die Spule etwas schaukeln kann, während sie sich um den Bindfaden dreht.

gehende, um ein Abgleiten des Drahtes über das Ende der Wicklung zu verhüten. Nach Beendigung des Wickelns wird das innere Ende des Drahtes an die eine obere Klemme der Sekundärspule geführt, das andere, äußere Ende an die andere. Nunmehr wird um die sekundäre Wicklung ein gerolltes Papier in einem Abstande von einigen Millimetern angebracht und der dadurch entstehende Zwischenraum, zugleich mit demjenigen zwischen Drahtrolle und Spulenrändern, voll Wachsisoliermasse gegossen. Die Isolation ist dann für die hierbei auftretenden Spannungen völlig ausreichend.

4. Pole der sekundären Spule.

Es ist schon früher darauf hingewiesen worden, daß der durch den primären Öffnungsstrom induzierte Sekundärstrom infolge seines zeitlich kurzen Verlaufs eine viel höhere Spannung besitzt und viel kräftigere Wirkungen auszuüben vermag, als der durch den Schließungsstrom induzierte. Bei den Funkeninduktoren ist dieser Unterschied infolge der Anwendung des Kondensators noch größer als bei den Induktionsapparaten derart, daß in den sekundären Entladungen zwischen den auf möglichst große Schlagweite gestellten Entladern eigentlich nur der sekundäre Öffnungsstrom in die Erscheinung tritt und man es mit einem unterbrochenen Gleichstrom als Nutzstrom zu tun hat. Man nennt denjenigen Pol der sekundären Wicklung, von welcher der vom Öffnungsstrom induzierte Strom ausgeht, den »positiven Pol der Sekundärspule«.

5. Stromwender.

Durch Umschaltung der Batteriedrähte an den Polklemmen des Apparates kann der primäre Strom umgekehrt und somit auch der positive Pol der Sekundärspule gewechselt werden. Um diesen Polwechsel leichter bewirken zu können, bedient man sich der Stromwender oder Kommutatoren.

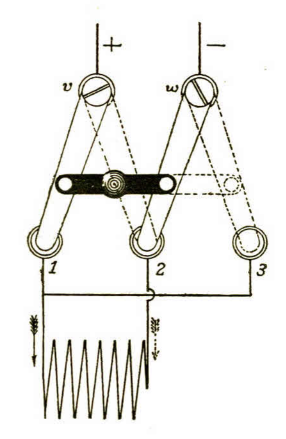


Fig. 36.

Die einfachste Form eines solchen ist die in Fig. 36 abgebildete. Zwei Hebel sind um die Zapfen *v w* drehbar, die mit dem positiven und negativen Pol der Betriebsbatterie verbunden sind. Beide Hebel sind durch eine Schiene aus isolierendem Material zwangsläufig verbunden und lassen sich aus der gezeichneten Stellung in die punktiert angedeutete Stellung drehen. In der gezeichneten Stellung geht der Strom von der positiven Stromzuführung in den Zapfen *v* durch den linken Hebel zum Kontakt 1 in der Pfeilrichtung durch

die Primärspule, und von ihr durch den Kontakt 2 und den rechten Hebel nach dem Zapfen w und zum negativen Pol der Batterie zurück. Wird das Hebelpaar in die punktiert gezeichnete Lage gebracht, so läuft der positive Strom von der Batterie nach dem Zapfen v und dem linken Hebel zum Kontakt 2, und in einer dem Pfeil entgegengesetzten Richtung durch die Primärspule zum Kontakt 3 und von da zum negativen Pol der Batterie zurück. Somit wird durch einfaches Verschieben des Hebelpaares der primäre Strom in seiner Richtung umgekehrt.

Etwas komplizierter, aber dauerhafter und zugleich als Ausschalter dienend, ist der in Fig. 37 und 38 abgebildete Ruhmkorffsche Stromwender. Der positive Strom geht von der Betriebsbatterie zur Klemme A und durch den Zapfen a und die Schraube v' in die auf einer Hartgummiwalze befestigte Messingschiene V', die sich in der Zeichnung unten be-

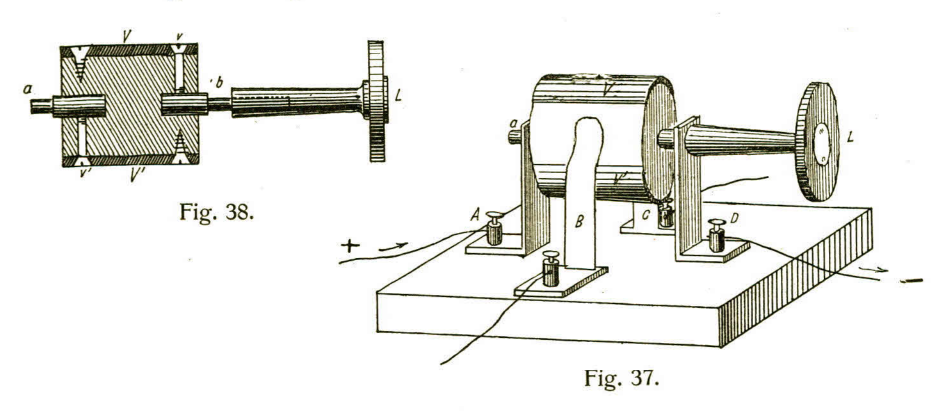


Fig. 38.

Fig. 37.

findet. Dreht man das Kordelrad L im Sinne des Uhrzeigers um 90^0, so kommt die Messingschiene V' mit der Feder B in leitende Berührung und der Strom geht von der Klemme B nach der Primärspule. Von dieser gelangt er nach der hinteren Feder C, von da in die Messingschiene V und die Schraube v, in den Zapfen b und die Klemme D. Von hier kehrt er zum negativen Pol der Batterie zurück.

Wird dagegen die Kordelschraube L um 180^0 gedreht, also in die der vorigen entgegengesetzten Lage gebracht, so wird der positive Batteriestrom über Klemme A, Zapfen a, Schraube v', Schiene V' nach der Feder C gelangen und die Primärspule in der entgegengesetzten Richtung wie vorhin durchlaufen, um dann über B, Schiene V, Schraube v, Zapfen b und Klemme D nach dem negativen Batteriepol zurückzukehren.

Dieser letztere Stromwender wird nur bei den größeren der hier behandelten Funkeninduktoren und bei den im nächsten Abschnitt zu betrachtenden großen Funkeninduktoren angewendet.

6. Stromquellen.

Als Stromquellen für den Betrieb kleiner Funkeninduktoren kommen die gleichen wie beim Betrieb der Induktionsapparate (vergl. S. 17 bis 20) in Betracht. Am meisten sind Akkumulatoren im Gebrauch.

7. Störungen und Fehler bei kleinen Funkeninduktoren.

Störungen sind bei den kleinen Funkeninduktoren im allgemeinen seltener als bei den Induktionsapparaten und beschränken sich in der Hauptsache auf den schlechten Kontakt des Hammerunterbrechers. Dagegen sind Beschädigungen in der Isolation der Spulen und des Kondensators, wenn sie vorkommen, meist viel schwererer Natur. Funkt der Unterbrecher stark und ist die Schlagweite kleiner geworden, so ist das ein Zeichen, daß der Kondensator durchschlagen ist. Man kann dann während des Betriebes das Überspringen der Funken im Apparatsockel hören. Man nehme dann den Kondensator heraus und untersuche ihn. Ist der Draht in der sekundären Spule gerissen oder die Isolation durchschlagen, so muß die Spule abgewickelt werden, bis man die schadhafte Stelle gefunden hat. Den abgewickelten Draht wickle man stets auf eine Spule oder einen Haspel, denn wenn er in Unordnung gerät, ist ein Entwirren fast unmöglich.

Viertes Kapitel.

Grofse Funkeninduktoren.

1. Allgemeine Angaben. Wicklung der sekundären Spule in einer Abteilung.

Durch Vergrößerung der Dimensionen, namentlich aber durch Aufwicklung eines sehr langen dünnen Drahtes in der sekundären Spule, suchte man die Spannung zu steigern, um möglichst große Schlagweiten zu erzielen. Dies geschah zunächst in derselben Weise, die wir bei den kleinen Funkeninduktoren kennen gelernt haben, nämlich so, daß man den Draht lagenweise über die ganze Länge der Spule, jede Lage also in Form eines hohlen Cylinders, wickelte.

Ruhmkorff, ein deutscher Mechaniker in Paris, der 1848 zuerst in Europa Funkeninduktoren größerer Dimension herstellte, wendete diese Methode an, und findet sich wohl noch heute in manchem Laboratorium ein derartig hergestellter Apparat vor. Bei den kleineren Apparaten von 20 cm Funkenlänge besteht die Induktionsspule aus 33000 Windungen (15 km) eines 0,3 mm dicken, bei den größten von 45 cm Funkenlänge aus 200000 Windungen (100 km) eines 0,2 mm dicken, mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes. Die einzelnen Lagen sind mit einer Schicht geschmolzenen Schellacks überzogen. Von dieser Art zu wickeln ist man längst abgegangen, und zwar aus folgendem Grunde: Wie wir gesehen haben (vergl. S. 6), summieren sich die in den einzelnen Windungen einer Drahtspirale induzierten Ströme, die Spannung wächst mit der Anzahl der Windungen. Nun befinden sich in einer Lage der sekundären Wicklung eines großen Induktors aber sehr viele hundert Windungen, und es wird somit zwischen der letzten Windung der zweiten Lage und der unmittelbar darunter liegenden ersten Windung der ersten Lage eine beträchtliche Spannungsdifferenz herrschen. Sie ist meist so groß, daß sie die isolierende Zwischenlage durchschlägt. Ist aber erst einmal ein solches Durchschlagen zwischen zwei aufeinander folgenden

Lagen erfolgt, so ist dadurch der wirksame Teil der Induktionsspule um so viele Windungen, als beide Lagen enthalten, vermindert, wenn nicht durch die großen Energiemengen eine gänzliche Zerstörung der Spule eintritt.

2. Wicklung der sekundären Spule in mehreren Abteilungen.

Diese Isolationsschwierigkeit wächst, je größer die Induktionsspule wird, d. h. mit der Größe des Funkeninduktors. Man ging daher dazu über, die Sekundärspulen der großen Funkeninduktoren aus mehreren einzelnen, kürzeren Spulen zusammenzusetzen. Poggendorff war wohl der erste, der auf diesen Ausweg hinwies. Die älteren Apparate dieser Art von Stöhrer, die eine vertikale Anordnung besitzen, sind aus drei Einzelspulen in der Sekundär-

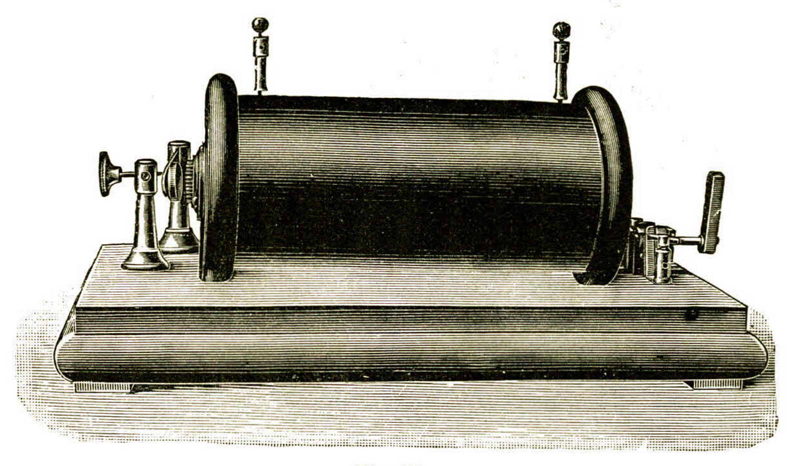


Fig. 39.

rolle zusammengesetzt. Um in diesen drei Spulen, die in gleichem Sinne herumgewickelt sind, die Windungsrichtung beizubehalten, mußte das äußere Ende der unteren Wicklung mit dem inneren Ende der darüberstehenden Spule verbunden werden. Allein gerade diese Art der Verbindung brachte die Gefahr mit sich, daß eine ganze Spule außer Wirkung gesetzt wird, wenn der Verbindungsdraht nicht genügend isoliert ist. War aber schon die Isolation der beiden Drähte des Ruhmkorffschen Apparates, die mit der Spannungsdifferenz zweier Lagen nahe beieinander lagen, schwierig, so muß das bei den viel größeren Spannungsdifferenzen zweier Spulen auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten stoßen. Stöhrer überwand diese Schwierigkeiten dadurch, daß er die aufeinander folgenden Spulen in verschiedenem Sinne herum aufwickelte. Ist die erste z. B. rechtsherum gewickelt, so ist die zweite linksherum, die dritte wieder rechtsherum

gewickelt. Wird nun das äußere Drahtende der ersten, rechtsherum gewickelten Spule mit dem äußeren Ende der zweiten, linksherum gewickelten Spule verbunden, so laufen die Drähte in beiden Spulen in gleichem Sinne um, es geht nur der Draht in der ersten Spule von innen nach außen und bei der zweiten von außen nach innen. Das gleiche ist bei der dritten Spule der Fall, wenn das innere Ende der zweiten Spule (links gewickelt) mit dem inneren Ende der dritten (rechtsherum gewickelten) Spule verbunden wird. Somit läuft der Draht in der ganzen, aus drei Teilen zusammen-

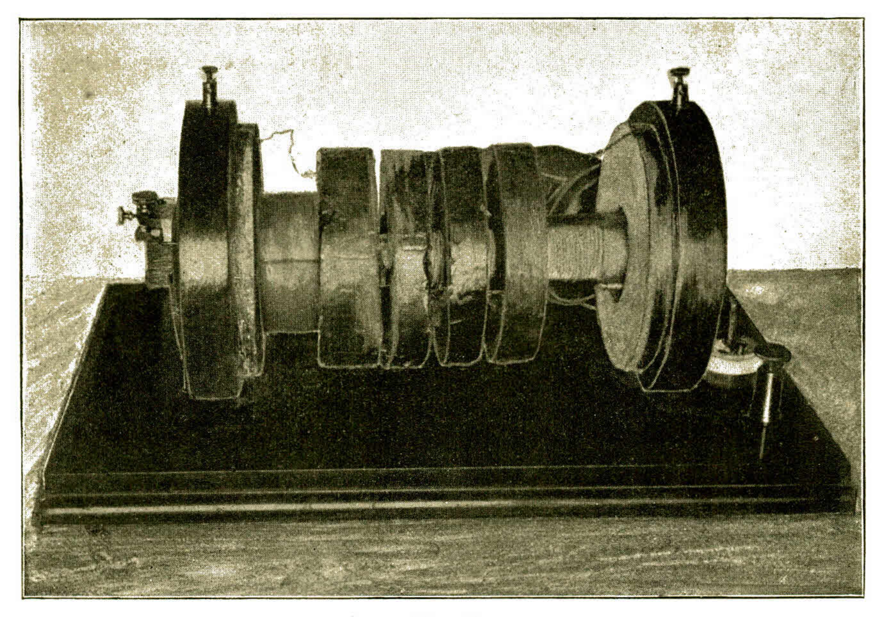


Fig. 40.

gesetzten Sekundärspule in gleichem Sinne, wie sonst, aber es besteht nicht mehr die Schwierigkeit der Isolation des Verbindungsdrahtes, denn ein solcher ist gar nicht mehr vorhanden. Allerdings müssen die einzelnen Spulen voneinander isoliert werden, aber das kann durch dazwischen gelegte Scheiben aus Hartgummi, Glas, Glimmer etc. leicht bewirkt werden. Je größer eine Teilspule im Durchmesser ist, desto niedriger wird sie sein müssen, damit ein Spannungsausgleich innerhalb der Spule vermieden wird. Bei den größten Stöhrerschen Apparaten mit ca. 20 cm Funkenlänge bestand die primäre Spule aus fünf Lagen zu je 120 Windungen eines 2 mm starken Drahtes, die sekundäre Wicklung aus 37000 Windungen (ca. 12 km) eines 0,15 mm starken, mit Seide besponnenen Drahtes.

In Fig. 39 ist ein auf diese Weise aufgebauter Funkeninduktor von Keiser & Schmidt in Berlin dargestellt, der natürlich äußerlich nichts Besonderes aufweist; seine Bauart würde erst beim Auseinandernehmen und Abschmelzen der Isolationsschicht zu erkennen sein. Fig. 40 zeigt einen solchen auseinander genommenen Funkeninduktor englischen Ursprungs. Man sieht deutlich, daß die Sekundärspule aus vier Sektionen oder Teilspulen besteht, welche auf der teilweise sichtbaren Primärspule sitzen und durch Zwischenlagen von Pappe von ihr getrennt sind. Die einzelnen Teilspulen sind nicht durch Isolationsscheiben, sondern durch einen ziemlich breiten Luftraum voneinander getrennt. Diese Methode ist nur bei Apparaten empfehlenswert, bei denen es auf einen wohlfeilen Verkaufspreis abgesehen

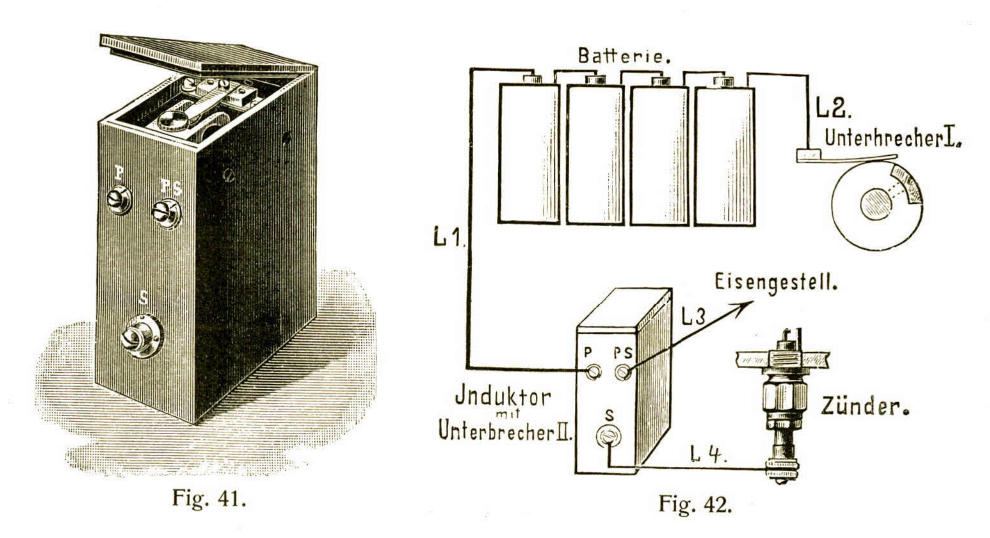


Fig. 41. Fig. 42.

ist, die Leistungsfähigkeit aber weniger in Betracht kommt. Will man schon Hartgummi-Isolationsscheiben vermeiden, so sollte wenigstens das Ausgießen der Zwischenräume mit Wachs-Isolationsmasse erfolgen. In der Tat stellen viele Firmen kleinere Funkeninduktoren auf diese Weise her, weil die Wicklung der Teilspulen dann fabriksmäßig erfolgen kann. Zum Beispiel sind die heute viel verlangten Zündinduktoren für Motorfahrzeuge und Explosionsmotoren so hergestellt.

Fig. 41 zeigt einen derartigen Apparat aus der Fabrik von Dr. Max Levy in Berlin. Derselbe ist mit einem schnellschwingenden Hammer-Unterbrecher versehen. Außerdem ist noch ein zweiter Unterbrecher in Form eines Schleifkontaktes auf der Motorwelle vorhanden (vergl. Fig. 42), der den Primärstrom im geeigneten Augenblick schließt. Die hochgespannten Sekundärströme werden den Polen der Zündvorrichtung, die durch eine

Porzellanröhre in den Gasraum des Explosionscylinders geführt ist, zugeleitet und bewirken dort durch ein starkes Büschel kräftiger Entladungsfunken eine absolut sichere Zündung des Gasgemisches.

3. Wicklung der sekundären Spule in dünnen Scheiben.

Bei den größeren Funkeninduktoren ist man mit der Zeit zu immer niedrigeren Spulen übergegangen und wickelt heute bei großen Funkeninduktoren die Spulen fast ausnahmslos in Form von dünnen Scheiben (Sektionen), die oft nur einige Millimeter dick sind, sogar nur eine Drahtstärke (0,2 mm) betragen können. Fig. 43 zeigt die Anordnung eines aus zahlreichen Sektionen aufgebauten Funkeninduktors nebst Schaltschema.

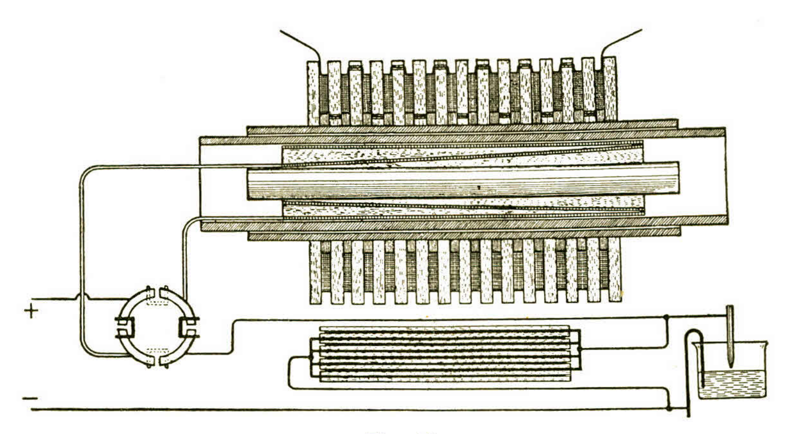


Fig. 43.

4. Anfertigung einzelner Scheiben und Aufbau der Sekundärspule.

Zur Herstellung der Spulensektionen für große Funkeninduktoren braucht man eine Vorrichtung, wie solche Fig. 44 veranschaulicht. Dieselbe besteht aus einer metallnen Scheibe *S′*, deren Durchmesser sich nach der Größe der herzustellenden Scheibe richtet. Die Nabe der Scheibe hat ein Gewinde, mit welchem sie sich auf den Gewindezapfen einer Drehbankspindel aufschrauben läßt, so daß die Scheibe wie eine Planscheibe der Drehbank läuft. Im Mittelpunkt dieser Planscheibe sitzt eine Schraube mit Flügelmutter. Durch letztere kann eine zweite Scheibe *S″* gegen die Planscheibe gedrückt werden. Man fertigt sich nunmehr einen metallnen Ring *r*, dessen Durchmesser dem Loch der anzufertigenden Spule, der, wie aus Fig. 43 hervorgeht, etwas größer als der äußere Durchmesser des Hartgummirohres ist, entspricht und dessen Dicke gleich der Dicke der Spule ist. Dieser Ring ist an seinem Umfange etwas konisch, damit er später aus der

Spule leicht herausgenommen werden kann; er wird zwischen die beiden Scheiben S' und S'' gelegt und die Flügelmutter fest angezogen. Nun wird der Anfang des aufzuspulenden Drahtes von der passend angebrachten Vorratsspule (vergl. S. 26) abgezogen, unter dem Glasstabe der Pfanne mit geschmolzener Isoliermasse (vergl. Fig. 35) hindurchgezogen und durch die kleine Bohrung der Scheibe S'' gesteckt. Nachdem noch die mit Leder bezogene Klemme zum Abstreifen der überflüssigen Isoliermasse um den Draht gelegt ist, setzt man die Scheibe in schnelle Rotation und der Draht wickelt sich in dem Zwischenraum beider Scheiben auf. Ist der Zwischenraum größer als 1 mm, so muß man den Draht etwas hin und her führen, damit die Wicklung möglichst gleichmäßig werde, bei sehr dünnen Sektionen läuft der Draht von selbst richtig.

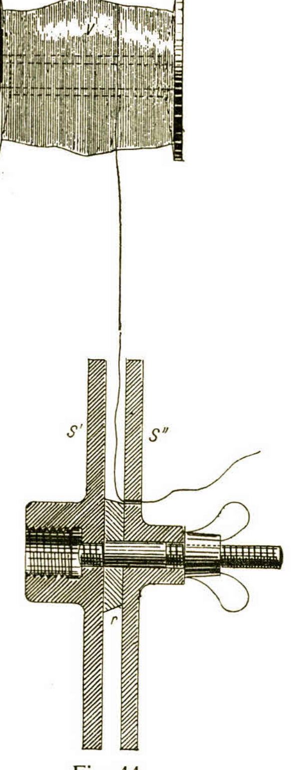


Fig. 44.

Ist der Zwischenraum voll, so warte man, bis die Isoliermasse erstarrt ist, die Scheibe kann dann herausgenommen werden. Sollte die Scheibe an den Metallwänden festkleben, so erwärmt man letztere schnell mit einer Bunsenflamme und zieht sie unter drehender Bewegung ab. Ebenso wird der Metallring entfernt. Man setzt den Apparat wieder zusammen und wickelt eine andere Spule. Bei allen Spulen ist die Drehrichtung die gleiche. Sind nun eine genügende Anzahl Spulen fertiggestellt, so prüfe man dieselben auf ihre Leitung, ehe man sie zusammensetzt.

Die Zusammensetzung der einzelnen Sektionen erfolgt durch Übereinanderlegen auf einem senkrecht stehenden Dorn von passendem Durchmesser. Man fertigt sich aus Hartgummi, Mikanit, Preßspan oder mehreren aufeinander gepreßten Blättern paraffinierten Papiers passende Isolationsscheiben, legt zuunterst eine solche und darauf eine Drahtspule. An dieser merke man sich die Umlaufsrichtung des äußeren Drahtendes; es sei z. B. dieselbe, nachdem die Scheibe liegt, von oben gesehen, diejenige des Zeigers einer Uhr. Auf die Spule kommt nun eine Isolationsscheibe und darauf eine neue Sektion. Bei dieser muß das äußere Drahtende im entgegengesetzten Sinne der Uhrzeigerbewegung verlaufen. Ist dies nicht der Fall, so drehe man die Scheibe um, d. h. ihre obere Fläche nach unten. Nun kommt wieder eine Isolationsscheibe und darauf wieder eine Sektion, bei der der

äußere Draht im Sinne des Uhrzeigers läuft u. s. w., bis die Spule die genügende Höhe erreicht hat. Nunmehr werden abwechselnd die inneren und die äußeren Enden je zweier aufeinander folgenden Sektionen miteinander verbunden, so daß der Draht durch die ganze Spule ein in immer derselben Umwindungsrichtung fortlaufendes Ende bildet. Die Enden werden zu diesem

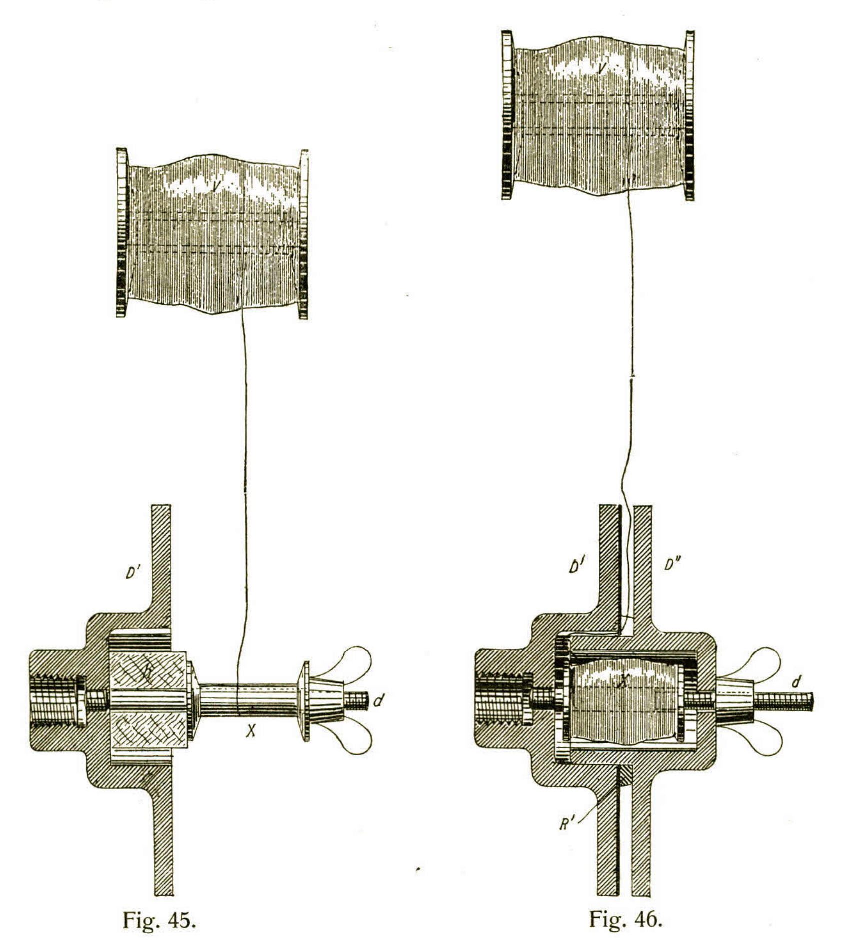


Fig. 45. Fig. 46.

Zweck blank gemacht, zusammengedreht und (ohne Anwendung von Lötwasser!) mittels eines kleinen Lötkolbens mit Zinn verlötet. Die Verbindungsstellen der einzelnen Spulen werden nicht alle auf einer Seite der ganzen Rolle, sondern in Spiralform ringsherum verteilt, um die Punkte mit hoher Spannungsdifferenz voneinander möglichst zu entfernen.

Die Verbindung der äußeren Drahtenden hat keine Schwierigkeiten, die der inneren Enden nur dann, wenn die innere Öffnung der Spulen so

klein ist, daß man mit der Hand nicht hineinkommen kann. In diesem Falle ist die vom Verfasser ersonnene Methode einer Wicklung von Wert, bei welcher je zwei aufeinander folgende Spulen aus einem Drahtende hergestellt werden, die innere Verbindung und Lötung also ganz fortfällt. Die zu dieser Wicklung erforderliche Einrichtung ist von der vorhin beschriebenen etwas verschieden; sie ist in Fig. 45 bis 48 im Querschnitt gezeichnet. Die Scheibe und der Dekel sind so gebildet, daß sie zusammengesetzt einen Hohlraum einschließen. Dieser dient zur Aufnahme einer kleinen Hilfsspule *x*, welche so groß ist, daß sie das zu einer Sektion nötige Drahtquantum aufnehmen kann und sich auf den Dorn *d* leicht aufschieben läßt.

Zunächst wird der Deckel *D''* abgenommen, ein Holzröllchen *h* auf den Dorn gesteckt und darauf die Hilfsspule *x* mittels der Flügelmutter befestigt (Fig. 45). Von der Vorratsspule *V* wird nun die Hilfsspule voll Draht gewickelt, ohne ihn durch die heiße Isoliermasse zu ziehen. Ist die Hilfsspule voll, so wird sie, ohne daß der Draht abgeschnitten wird, vom Dorn *d* heruntergezogen, das Holzröllchen *h* entfernt und, nachdem auf die Scheibe *D'* eine Isolationsscheibe gelegt (mit etwas Isoliermasse angeklebt) wurde, in die Höhlung der Scheibe *D'* gesteckt und der Deckel *D''* mit dem konischen Ringe *R'* darauf befestigt (Fig. 46). Der die Hilfsspule mit der Vorratsrolle verbindende Draht geht durch eine in der Scheibe *D'* und dem Ringe *R'* angebrachte, in der Zeichnung angedeutete Nut (vergl. Fig. 48). Nunmehr kann die Sektion gewickelt werden, nachdem der Draht in die Isoliermasse und die Abstreichklemme gebracht worden ist. Ist die Sektion fertig, d. h. der Zwischenraum *D' R' D''* voll, so wird der Draht abgeschnitten. Nach dem Erstarren der Scheibe wird der Deckel *D''* abgenommen, auf die gewickelte Drahtspule eine Isolationsscheibe gelegt, die Hilfsspule *x* herausgezogen und an die Stelle der Vorratsspule gebracht.

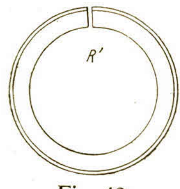


Fig. 48.

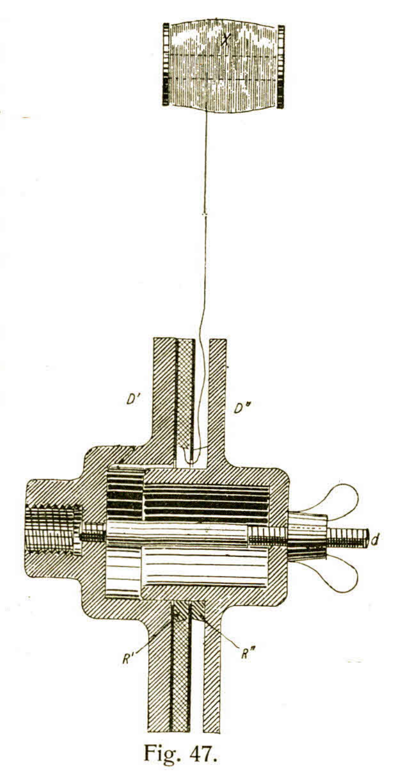


Fig. 47.

Nun wird der Deckel D'' mit einem Ringe R'' versehen und mittels der Flügelmutter gegen die bereits gewickelte Sektion gepreßt (vergl. Fig. 47). Nachdem der von der Hilfsspule kommende Draht durch die Isolationsmassenschale und die Abstreifklemme geleitet ist, kann das Wickeln der zweiten Sektion erfolgen. Bei dieser läßt man die Vorrichtung in der entgegengesetzten Umdrehungsrichtung als bei der ersten rotieren.

Nach dem Erstarren der Masse wird die Doppelsektion abgenommen und die beiden Ringe R' R'' entfernt. Sollten sie kleben, so werden sie durch eine Bunsenflamme ein wenig erwärmt. Auf gleiche Weise werden eine genügende Anzahl Doppelsektionen hergestellt, die dann auf dieselbe Art, wie vorhin beschrieben, übereinander gebaut und deren äußere Enden miteinander verbunden werden.

Man überzeuge sich, daß alle Sektionen leitende Verbindung haben. Wegen des hohen Widerstandes der zusammengesetzten Spule ist dazu ein sehr empfindliches Galvanometer oder eine hohe Batteriespannung erforderlich.

5. Umgießen der sekundären Spule.

Nunmehr wird die zusammengesetzte Spule mit Isoliermasse umgossen, so daß die Masse nicht allein die ganze Oberfläche der Spule 1 bis 2 cm und die Endflächen je nach Größe 5 bis 20 cm dick bedeckt, sondern auch alle in der Spule etwa vorhandenen Lücken ausgefüllt werden. Damit auch alle Luftblasen aus den Wicklungen herauskommen, erfolgt das Ausgießen zweckmäßig im Vakuum. Man bringt zu diesem Zweck die mit einem Mantel von Pappe in einem Abstande von 1 bis 2 cm umgebene und mit einem um ca. 1 bis 2 cm kleiner im Durchmesser als die Sektionen haltenden Pappcylinder als Kern versehene Spule unter einen Rezipienten, der oben einen Tubus hat. Dieser wird mit einem Gummipfropfen geschlossen, durch den ein Glasrohr mit Hahn gesteckt ist. Vom Glasrohr führt ein dickwandiger Gummischlauch in ein Gefäß mit geschmolzener und entlufteter Isoliermasse. Ist der Rezipient gut luftleer, was durch stundenlanges Pumpen mit einer Quecksilber-Luftpumpe erreicht wird, so öffnet man den Hahn und läßt die flüssige Isoliermasse in die Form treten, bis sie ganz damit gefüllt ist.

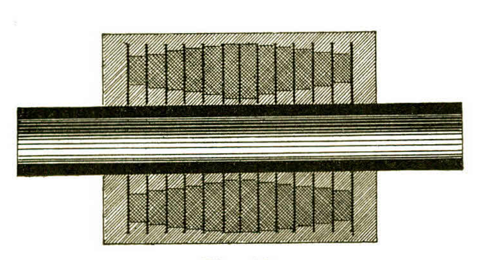


Fig. 49.

Eine derartig hergestellte Sekundärspule bietet die größte Sicherheit gegen das Durchschlagen der Funken. Bei sehr großen Induktoren kann

man außerdem noch die Vorsicht gebrauchen, die Isolationssch a nach den Enden der Spule hin, wo die Spannungsdifferenz am größt , dicker zu machen. Dies erfolgt beim Wickeln der Spulen dadurch, aß man die mittelsten Spulen kleine Ringe einlegt und die Spulen mit g. ßem Durchmesser wickelt, hingegen zu den nach außen hin liegenden Spulen Ringe von größerem Durchmesser anwendet, den Spulen selbst aber kleinere Durchmesser gibt. Der Querschnitt einer solchen Spule hat dann das in Fig. 49 gezeichnete Aussehen.

6. Das Hartgummirohr.

Die vergossene Sekundärspule wird auf ein Hartgummirohr geschoben, welches zur Aufnahme der Primärspule dient. Damit die Spannungen der sekundären Spule sich nicht durch die primären Windungen oder den Eisenkern ausgleichen können, ist nicht nur eine genügende Wandstärke des Hartgummirohres, sondern auch mindestens die doppelte Länge der sekundären Spule für das Hartgummirohr zu wählen. Die Wandstärke des Rohres wird nicht über 1 cm groß genommen und reicht ein solches Rohr für Funkeninduktoren bis 0,3 m Schlagweite aus. Für größere Induktoren werden zwei, für die größten drei solcher genau ineinander passende Röhren, die äußeren kürzer als die inneren, angewendet. Das Rohr hat an beiden Seiten Gewindeansätze, auf welchen scheibenartige Muttern aus Hartgummi die Spule von beiden Seiten einschließen. Mit diesen Muttern lagert die Spule auf passend ausgeschnittenen Unterlagen.

Das Material, aus welchem diese Hartgummiröhren angefertigt werden, ist ein ganz bestimmtes, jedenfalls sehr gut gereinigter und völlig eisenfreier Gummi. Um alle Luftblasen, die eine der hauptsächlichsten Ursachen des Durchschlagenwerdens dieser Isolierröhren bilden, im Material zu vermeiden, wird das Rohr nicht aus einer dicken Gummischicht hergestellt, sondern durch Vielfachübereinanderwickeln einer dünn ausgewalzten Gummiplatte über einen Dorn.

Andere Materialien, wie Stabilit, Glas, Porzellan etc., können wegen ihrer geringeren Isolationsfähigkeit zur Anwendung als Isolierrohr außer Betracht bleiben. Bei größeren Apparaten wendet man jedoch häufig außer dem Hartgummirohr eine Mikanit- oder Porzellanröhre an, die mit der sekundären Spule vergossen wird und das Hartgummirohr umschließt.

7. Die Primärspule.

Die Primärspule der größeren Funkeninduktoren wird nicht direkt auf den Eisenkern, sondern auf eine besondere Hülse von Papier oder Hartgummi mit 1 mm Wandstärke gewickelt, damit man den Eisenkern er-

forderlichen Falles herausnehmen kann. Die Drahtdicke und die Anzahl der Lagen ist je nach der vorhandenen Betriebsstromstärke und der zu erzielenden sekundären Stromintensität eine sehr verschiedene. Je größer die Betriebsstromstärke, desto dicker muß natürlich der Draht sein, dessen Durchmesser von $1^1/_2$ bis 4 mm variiert. Unter allen Umständen muß die Anzahl der Windungen so groß sein, daß bei der angewandten Betriebsstromstärke eine nahezu vollständige Sättigung des Eisenkerns (vergl. nächsten Abschnitt) eintritt, wobei auch die Stromschlußdauer des Unterbrechers zu berücksichtigen ist. Bei schwacher Betriebsstromstärke und kurzer Stromschlußdauer werden viele Lagen eines Drahtes von geringerem Querschnitt, bei langer Stromschlußdauer (geringer Unterbrechungszahl) weniger Windungen eines stärkeren Drahtes, und bei starkem Betriebsstrom und langer Stromschlußdauer nur wenige Windungen eines recht dicken Drahtes notwendig sein.

Um für alle möglichen vorkommenden Fälle passende Verhältnisse anzuwenden, kann man mehrere Primärspulen mit verschiedenen Drahtstärken herstellen und mit diesen nach Bedarf wechseln.

In neuester Zeit stellt man die Spulen in der Weise her, daß man einen Draht mittlerer Dicke benutzt und davon 4 bis 6 Lagen wickelt, diese sind indessen nicht in einem Ende, vielmehr jede Lage für sich in einem Ende hergestellt. Durch passend angebrachte Stöpsel können nun die einzelnen Lagen je nach Bedarf alle hintereinander oder alle parallel, oder auch gruppenweise geschaltet werden. Es ist damit dasselbe erreicht, wie mit einer Anzahl auswechselbarer Spulen, und werden wir die Zweckmäßigkeit dieser Anordnung später bei Besprechung der Unterbrecher kennen lernen.

Die Primärspule wird in das Hartgummirohr eingeschoben und dieses mit Hartgummideckeln verschlossen. Die Stromzuführungsklemmen sind an einem dieser Deckel befestigt.

8. Der Eisenkern.

Der Eisenkern spielt bei den Funkeninduktoren eine hervorragende Rolle, wie man aus der ganz bedeutenden Abnahme der Funkenstrecke sehen kann, sobald der Eisenkern aus der Primärspule herausgezogen wird. Es bildet der Eisenkern durch seine Magnetisierung einen Akkumulator für die durch den geschlossenen Betriebsstrom gelieferte Energie. Wegen der Selbstinduktion in der Primärspule einesteils, hauptsächlich aber wegen der Magnetisierung des Eisenkerns, kann der Betriebsstrom nach erfolgtem Schließen nicht sofort, sondern erst allmählich zu seiner vollen Stärke anwachsen, die Stromarbeit wird in der Magnetisierung aufgebraucht, kommt aber bei der Stromöffnung wieder zur Wirkung. Weil sich diese Wirkung

in einer außerordentlich kurzen Zeit vollziehen muß, ist sie eine äußerst intensive.

Es ist deshalb von der größten Wichtigkeit, den Eisenkern richtig zu dimensionieren und auf das sorgfältigste herzustellen. Hierzu bedarf es einer theoretischen Betrachtung über das magnetische Verhalten des Eisens.

Besteht die Primärspule aus n Windungen und ist i die Stromstärke in Ampère, so ist die magnetomotorische Kraft $F = \frac{4 \pi n i}{10} = 1,257\, n\, i.$

Diese magnetomotorische Kraft erzeugt in dem Eisenkern eine gewisse Anzahl Kraftlinien, die mit Φ bezeichnet seien. Ist

l die mittlere Länge derselben,

q der Querschnitt des Eisens in Quadratcentimetern,

μ dessen Magnetisierbarkeit (Permeabilität),

so ist der magnetische Widerstand (Reluctanz) $R = \frac{l}{\mu q}$.

Die Gesamtzahl der magnetischen Kraftlinien in der Richtung derselben ist demnach $\Phi = \frac{F}{R} = \frac{1,257\, n\, i\, \mu\, q}{l}$, somit gehen durch 1 qcm des Eisens vom Magnetquerschnitt (genannt magnetische Induktion) $B = \frac{\Phi}{q} = \frac{1,257\, n\, i}{l} \mu$ Kraftlinien hindurch, d. h. die Anzahl der durch jede Flächeneinheit des Querschnitts vom Elektromagneteisen gehenden Kraftlinien, oder was dasselbe ist, die Stärke dieses Elektromagneten wird um so größer sein, je größer die magnetisierende Kraft $(H) = \frac{1,257\, n\, i}{l}$ oder die Zahl der Ampèrewindungen pro Centimeter ist. — Mißt man die Magnetisierung, welche durch verschiedene magnetisierende Kräfte erzeugt wird, so wird man finden, daß dieselbe nicht proportional mit der magnetisierenden Kraft oder den Ampèrewindungen ist, sondern daß sie anfänglich rasch, dann immer langsamer zunimmt, um sich schließlich asymptotisch einem gewissen Grenzwert zu nähern, der je nach der Beschaffenheit der verwendeten Eisensorte höher oder tiefer liegt. Die Permeabilität μ ist also nicht konstant, sondern eine Funktion der Magnetisierung selbst, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

Tabelle der Magnetisierung für ausgeglühtes Schmiedeeisen.

$H =$	1,66	4	5	6,5	8,5	12	17	28,5	52	105	200	350
$B =$	5000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000
$\mu =$	3000	2250	2000	1692	1412	1083	823	526	308	161	90	54

Deutlicher geht dies noch aus der graphischen Darstellung der Magnetisierungskurven (Fig. 50) hervor, welche für deutsches und schwedisches Eisen gelten. Die Kurve steigt zunächst steil an, macht dann plötzlich einen scharfen Bogen (Knie) und läuft dann annähernd horizontal.

Wenn man ein Stück Eisen verschiedenemal einer gleich großen magnetisierenden Kraft aussetzt, so wird doch die Anzahl der erzeugten Kraftlinien oder die magnetische Induktion verschieden groß ausfallen, je nachdem das Eisen sich schon in einem mehr oder weniger starken magnetischen Zustande befunden hatte. Bekannt ist z. B. die Eigenschaft des gehärteten Stahls, welcher seinen Magnetismus auch nach dem Erlöschen der magnetisierenden Kraft beibehält und somit durch spätere magnetisierende Kräfte entweder gar nicht oder nur unbedeutend verändert wird. Auch das weiche Eisen, welches durch die geringsten magnetisierenden Kräfte fast momentan beeinflußt wird, zeigt in seinem Verhalten die erwähnte, trägheitartige Eigenschaft, welche man als »**Hysteresis**« bezeichnet. Unterwirft man z. B. ein Stück weiches Eisen einem magnetischen Kreisprozeß, indem man die magnetisierende Kraft von einem gewissen Wert bis zu einem Maximum anwachsen, dann allmählich wieder abnehmen läßt, bis sie auf Null kommt, dann dieselbe darüber hinaus bis zu einem gleich großen negativen Wert steigert, um sie dann allmählich wieder auf den Anfangswert zurückkehren zu lassen, und mißt man die Anzahl der erzeugten Kraftlinien (Größe der magnetischen Induktion B) für verschiedene Werte der magnetisierenden Kraft (H) oder für verschiedene Ampèrewindungen, so erhält man zwei Magnetisierungskurven, die sich nicht decken (vergl. Fig. 51).

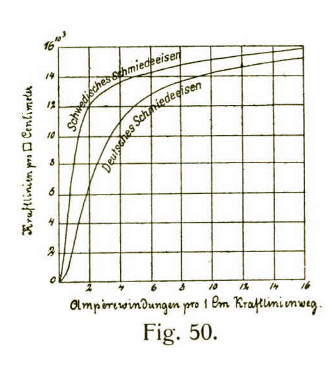


Fig. 50.

Die von diesen beiden Kurvenzweigen eingeschlossene Fläche stellt die Arbeit dar, welche bei der Ummagnetisierung geleistet und in Wärme umgesetzt wird. Denjenigen Teil der magnetischen Induktion, oder diejenige Anzahl von Kraftlinien pro Quadratcentimeter, die noch im Eisen zurückbleibt, wenn die magnetisierende Kraft gleich Null ist, nennt man **remanenten Magnetismus**. Weiches Eisen besitzt die kleinste Hysteresis, also auch den kleinsten remanenten Magnetismus.

Aber auch bei ein und derselben Eisensorte variiert die Hysteresis. Dieselbe ist am kleinsten, wenn die Länge der Eisenmassen in der Kraftlinienrichtung möglichst reduziert wird, so daß die entmagnetisierende Kraft der Pole möglichst groß und der Teil des Kraftlinienweges, welcher innerhalb

des Eisens verläuft, möglichst klein ist im Verhältnis zur ganzen Länge desselben. Lange Eisenstäbe haben also eine größere Hysteresis als kurze, bei denen die Kurvenzweige mehr zusammenfallen als bei ersteren. In Fig. 52 sind die Verhältnisse für einen dünnen Eisenstab dargestellt, der in dem einen Falle das 300fache, im anderen Falle das 50fache des Durchmessers zur Länge hat. Der Unterschied zeigt sich hauptsächlich in der Größe des remanenten Magnetismus, der beim kurzen Stabe 6 $^0/_0$, beim langen Stabe dagegen 85 $^0/_0$ vom Totalmagnetismus beträgt.

Diese Eigenschaften des Eisens sind von der größten Bedeutung beim Bau des Eisenkerns für ein Induktorium. Soll die durch den primären Strom hervorgebrachte Magnetisierung der primären Stromstärke immer genau proportional sein und plötzlich möglichst steil abfallen, um hohe Spannungen

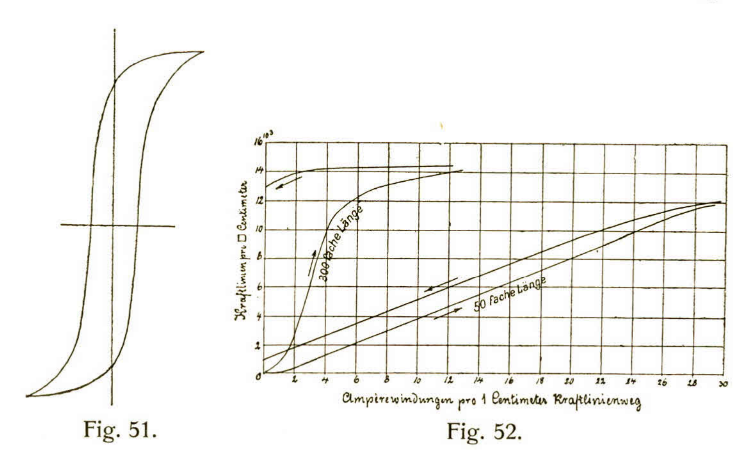


Fig. 51. Fig. 52.

zu induzieren, so muß die Hysteresis möglichst klein sein; es dürfen also keine geschlossenen Eisenringe oder lange dünne Stäbe als Kerne verwendet werden, sondern verhältnismäßig kurze, offene Cylinder und wird man zweckmäßigerweise nicht über den 20fachen Durchmesser als Länge hinausgehen, wobei die Länge im allgemeinen etwas größer sein muß, als die sekundäre Spule bezw. die Funkenlänge des Induktors.

Außerdem ist das weichste Eisen für diese Zwecke am geeignetsten; am besten ist schwedisches Borgwikseisen, das sehr rein und so weich ist, daß man es mit dem Messer schneiden kann.

Daß man zur Verhütung der Wirbelströme (Foucaultströme), die die magnetisierende Kraft schwächen, keinen massiven Eisenkern anwenden darf, vielmehr denselben aus Drahtstäben oder Blechstreifen zusammensetzt, ist bereits bei den Induktionsapparaten (vergl. S. 5) gesagt worden; ebenso, daß die Drähte alle gut geglüht und gerade gerichtet sein müssen. Vor

dem Zusammensetzen werden sie einzeln mit Schellack-Lack gestrichen, um ihre metallische Berührung zu verhüten (vergl. S. 10).

Man darf die Drähte aber auch nicht zu dünn wählen, weil sonst die magnetische Sättigung des Kerns zu gering ist. Im allgemeinen verwendet man bei den größeren Apparaten 1 bis 2 mm dicke, gerade gerichtete, geglühte und in Öl oder heißer Asche langsam abgekühlte Eisendrähte, die man in Bündel von 3 bis 10 cm Durchmesser zusammenfaßt. Die primäre Wicklung wird so eingerichtet, daß der Kern bis zum Knie der Magnetisierungskurve, d. h. also etwa 10000 Kraftlinien pro Quadratcentimeter, magnetisiert wird.

9. Der Kondensator.

Über die Herstellungsweise eines Kondensators ist bereits auf S. 23 bis 25 bei den kleinen Funkeninduktoren so ausführlich geschrieben worden, daß hier auf dieselbe nicht noch einmal eingegangen zu werden braucht. Auch ihre Unterbringung ist die gleiche. Sehr zweckmäßig ist es, auch die Kondensatoren aus mehreren übereinander liegenden Teilen herzustellen, um sie durch einen Kurbelschalter, der über einzelne Kontaktstifte streift, in der Kapazität variieren zu können. Bei höherer Unterbrechungszahl muß die Kapazität des Kondensators im allgemeinen verkleinert, bei höherer Betriebsstromstärke muß sie vergrößert werden.

Es ist bei den großen Funkeninduktoren nötig, die Kondensatoren im Vakuum mit Isoliermasse zu umgießen.

Bei Anwendung der Flüssigkeits-Unterbrecher sind keine Kondensatoren erforderlich und stellt sich ein Funkeninduktor, der speziell für den Betrieb durch einen Flüssigkeits-Unterbrecher bestimmt ist, durch den Fortfall des Kondensators wesentlich billiger.

Erwähnt mag hier noch sein, daß man in Amerika vielfach überhaupt keine Kondensatoren an den Funkeninduktoren verwendet. Es werden dann mechanische oder magnetische Gebläse zum Löschen der Funken an den Platin- oder Quecksilber-Unterbrechern benutzt.

10. Ausstattung.

Die Enden der umgossenen sekundären Spule werden an etwas stärkere Drähte angelötet, und diese an die in der Wachsumhüllung oder den die sekundäre Spule begrenzenden Hartgummimuttern eingelassenen messingnen Polstücke angelötet.

Die sekundäre Spule erhält darauf einen Mantel von dünnem Hartgummi, der mit korrespondierenden Löchern versehen ist und mittels einer durch diese Löcher gezogenen seidenen Schnur zusammengehalten wird.

Während bei den kleineren Funkeninduktoren die Polstücke in der Art ausgebildet sind, daß sie zwei mit Hartgummi umkleidete, herausnehmbare Polsäulen aufnehmen, die die Entlader tragen, sind dieselben bei größeren Induktoren als Kugelklemmen ausgebildet, die mit besonderen Entladerständern durch biegsame Kabel verbunden werden. Die Entlader bestehen aus zwei Metallstäben, von denen der eine in eine Spitze ausläuft, während der andere eine runde Messingscheibe trägt. Der Grund dieser verschiedenen Ausbildung liegt in der Polarität des Induktors. Bei der normalen Stellung des Stromwenders der primären Spule gehen die Funken von der Spitze als positiver Pol (Anode) zur Mitte der negativen Platte und man erzielt große Schlagweite. Springen die Funken bei kleinerer Schlagweite von der Spitze nach dem Rand der Scheibe, so befindet sich der Stromwender in der falschen Stellung.

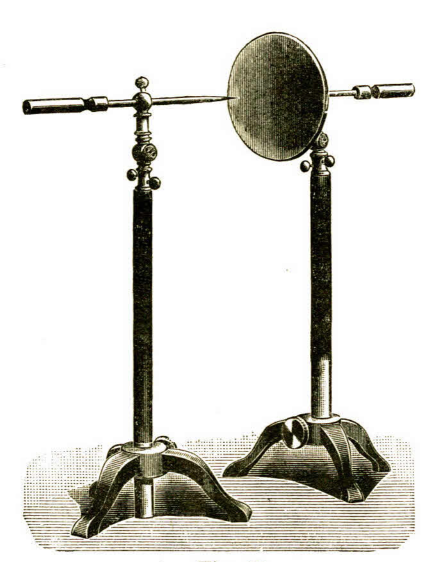


Fig. 53.

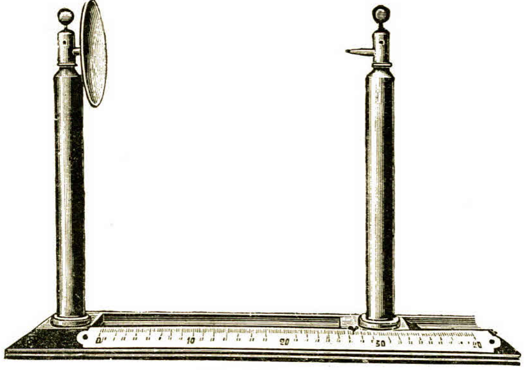


Fig. 54.

Bei dem auf dem Induktor selbst angebrachten Entlader kann die Funkenlänge durch Verschieben der Spitze variiert und die Schlagweite an einer an der Stange angebrachten Centimetereinteilung abgelesen werden. Bei den Funkenständern (Fig. 53 und 54) wendet man meist eine Schlittenvorrichtung mit Skala an. Über die angegebene maximale Funkenlänge darf man einen Funkeninduktor wegen der Gefahr des Durchschlagens seiner Isolation nicht beanspruchen.

Die fertig armierte Sekundärspule wird entweder mit den die Spule begrenzenden Endbrettern oder besser mit den auf der Hartgummiröhre aufgeschraubten Endmuttern mit Hilfe zweier Auflageböcke auf ein Grundbrett montiert, welches letztere erforderlichen Falles mit dem Kasten für den Kondensator vereinigt werden kann.

Auf dem Grundbrett werden zwei Anschlußklemmen, ein Ausschalter und der Stromwender befestigt. Zweckmäßig ist die Anbringung einer Schmelzsicherung, um die Primärspule vor Überlastung zu schützen.

Diese Teile können fortbleiben, wenn dieselben mit dem Unterbrecher zusammen zu einem Apparat vereinigt sind; an dem Induktor bleiben dann nur die Zuführungsklemmen an die Primärleitung und die beiden Klemmen zum Kondensator. Über die Schaltungen wird im 8. Kapitel berichtet werden.

11. Störungen bei Funkeninduktoren.

Sollte ein größerer Funkeninduktor schlechte Resultate geben, so verfahre man folgendermaßen. Man kontrolliere zunächst die Stromquelle und den Unterbrecher; sind diese in Ordnung, so untersuche man den Induktor in folgender Reihenfolge:

1. Es ist an irgend einer Verbindung kein Kontakt;
2. der Kondensator ist durchschlagen;
3. die Sekundärspule ist falsch zusammengesetzt oder
4. die Isolation der Sekundärspule ist beschädigt;
5. die Isolation zwischen Primärspule und Sekundärspule ist schadhaft;
6. die Sekundärleitung ist zerstört, man bestimmt die Fehlerstelle durch Kapazitätsmessung und wechselt die schadhafte Spule gegen eine neue aus.

12. Dimensionen ausgeführter Funkeninduktoren.

In nachstehender Tabelle sind die Hauptmaße einiger ausgeführter Funkeninduktoren aufgeführt, die einen Anhalt für die Anfertigung solcher Apparate geben. Alle Maße sind in Millimetern angegeben.

Schlagweite	80	100	150	250	350	500
Durchmesser des Eisenkerns	15	20	25	35	45	55
Länge des Eisenkerns	150	200	250	400	550	800
Durchmesser der einzelnen Drähte	1	1,1	1,2	1,5	1,8	2
Durchmesser des blanken Primärdrahtes	1	1,2	1,5	2	2,5	3
Durchmesser des Hartgummirohres außen	32	42	53	71	89	109
Wandstärke des Hartgummirohres	4	6	8	10	12	15
Innerer Durchmesser der Sekundärspule	36	48	61	81	101	123
Äußerer Durchmesser der Sekundärspule	71	89	111	150	206	290
Anzahl der Sektionen	15	20	34	63	100	143
Dicke der einzelnen Sektionen	4	3,5	3	2,5	2	2
Durchmesser des Sekundärdrahtes (blank)	0,1	0,1	0,1	0,12	0,15	0,15
Kondensator-Blattzahl	60	70	80	100	120	140
Größe des Stanniols	60 × 120	70 × 140	90 × 180	110 × 220	150 × 300	200 × 400

13. Drahttabelle.

Für die zur sekundären Spule zu verwendenden Drähte dienen folgende Angaben:

Durchmesser des blanken Drahtes	Querschnitt in qmm	Gewicht pro m in g	Länge pro kg in m	Widerstand pro m in Ohm
0,10 mm	0,00785	0,070	14300	2,215
0,12 „	0,01131	0,101	9900	1,539
0,15 „	0,01767	0,157	6370	0,985
0,18 „	0,02545	0,227	4400	0,684
0,20 „	0,03142	0,280	3570	0,554

Die Bespinnung ist durchweg doppelt (rechts und links gewickelt) mit Seide.

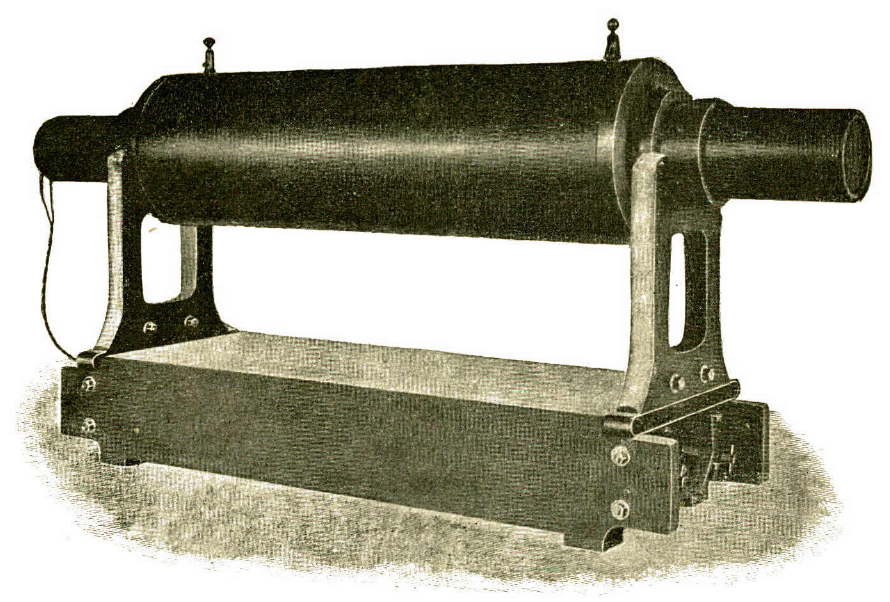


Fig. 55.

14. Ausgeführte Apparate.

In folgendem sind noch spezielle Angaben über einige neuere Funkeninduktoren von renommierten Firmen enthalten:

1. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin.

Die Induktoren haben eine gefällige Form (Fig. 55); ihr Typus ist gekennzeichnet durch das über die Sekundärspule hinausragende Hartgummirohr und die Verlängerung des Eisenkerns zur Befestigung des später

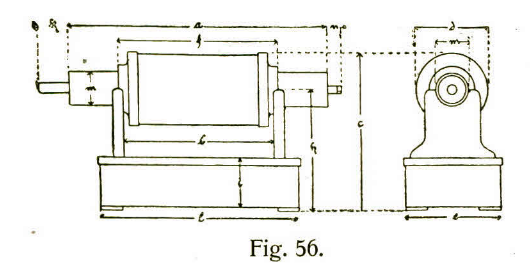


Fig. 56.

zu beschreibenden Hammer- oder Quecksilber-Unterbrechers bei den kleineren Apparaten. Die größeren Typen werden ohne diese Ansatzstücke gebaut, weil Platin-Unterbrecher dabei nicht in Betracht kommen. Der Eisenkern ist aus Spezial-Dynamoblechen hergestellt, die Sektionen der Sekundärspule keilförmig gewickelt. Der Kondensator ist in vier Abstufungen variabel. Fig. 56 stellt den Aufbau der kleinen Typen von 15 und 20 cm Funkenlänge, Fig. 57 denjenigen der größeren Apparate dar und enthält die folgende Tabelle die Hauptabmessungen, Gewichte und Preise dieser Apparate.

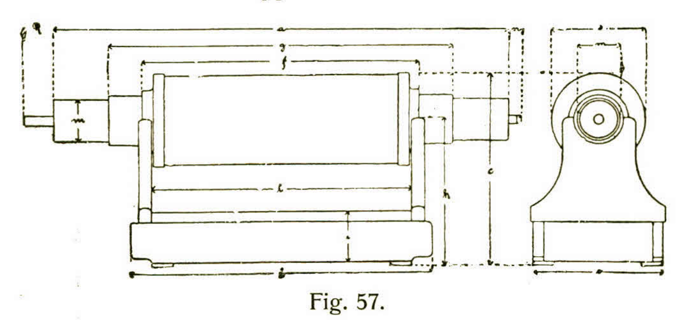


Fig. 57.

Induktor-Type	Maße in Millimetern													Gewicht in kg	Preis in Mark
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n		
15	480	440	360	160	230	350	—	280	125	70	340	75	30	22	300
20	600	470	365	170	230	370	—	280	125	70	370	80	30	28	350
25	700	500	400	180	270	450	500	320	120	70	420	80	30	34	450
30	800	560	420	200	275	520	600	320	120	70	500	90	30	42	550
40	1050	700	450	210	300	640	800	340	130	—	600	100	30	58	800
50	1150	830	550	220	300	750	850	450	140	—	700	105	30	70	1200
60	1400	900	630	250	300	840	1050	450	140	—	800	115	30	103	1650
70	1500	1120	660	266	350	980	1100	525	165	—	940	124	30	140	2200

In folgender Tabelle sind Angaben über die Mindestspannung für die Induktoren enthalten, um mit einem Quecksilber-Unterbrecher der 18 mal in der Sekunde unterbricht und dessen Stromöffnungsdauer gleich der Stromschlußdauer ist, die maximale Funkenlänge zu erhalten. Die mittlere Stromstärke im Primärkreise beträgt dabei etwa 3 Ampère. Bei höheren Unterbrechungszahlen wird man eine um mindestens $20^0/_0$ höhere Betriebsspannung verwenden müssen.

Induktor-Type	Funkenlänge in cm	Mindestspannung in Volt	Erforderl. geringste Zellenzahl der Akk.-Batterie	Für Röntgenzwecke geeignete	
				Mindestspannung	Zellenzahl
15	18	12	6	16	8
20	23	14	7	16	8
25	28	16	8	20	10
30	33	20	10	24	12
40	43	24	12	28	14
50	54	28	14	32	16
60	65	32	16	40	20
70	75	40	20	48	24

Für besondere Zwecke, z. B. bei wissenschaftlichen Arbeiten im Laboratorium zur Wechselstrom-Transformation, ergeben diese Induktoren bei einem ungefähren Nutzeffekt von 80 % die in folgender Tabelle angegebenen Transformations-Koeffizienten. Bei kurzen Versuchen kann bis zu einer sekundären Effektivstromstärke von 0,1 Ampère gegangen werden, bei längerer Versuchsdauer soll dieselbe 0,05 Ampère nicht übersteigen.

Induktions-Type	Transformations-Koeffizient	Effektivspannung primär	Effektivspannung sekundär	Stromstärke primär	Leistung in Kilowatt $\times \cos \varphi$
15	160	65	10000	10	0,5
20	180	75	14000	12	0,7
25	210	85	18000	14	0,9
30	240	100	24000	18	1,2
40	300	120	36000	26	1,8
50	350	150	52000	26	2,6
60	420	180	76000	30	3,8
70	500	220	110000	50	5,5

2. J. Carpentier in Paris fertigt Funkeninduktoren in der in Fig. 59 abgebildeten Form. Die Umhüllung ist polygonartig aus poliertem Mahagoniholz.

3. H. W. Cox in London liefert Induktoren, die mit allen Induktoren englischen Ursprungs die Eigentümlichkeit gemeinsam haben, daß das Hartgummirohr wenig aus der Umkleidung vorsteht und in besondern Brettern seine Auflage findet (Fig. 58). Diese Apparate liefern besonders intensive Funken.

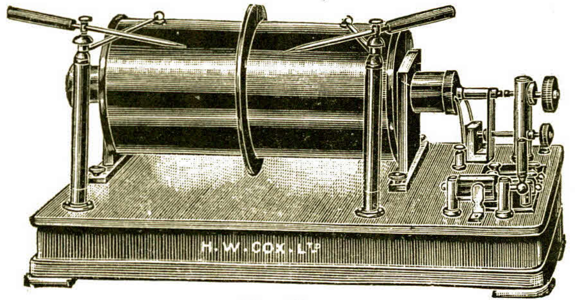


Fig. 58.

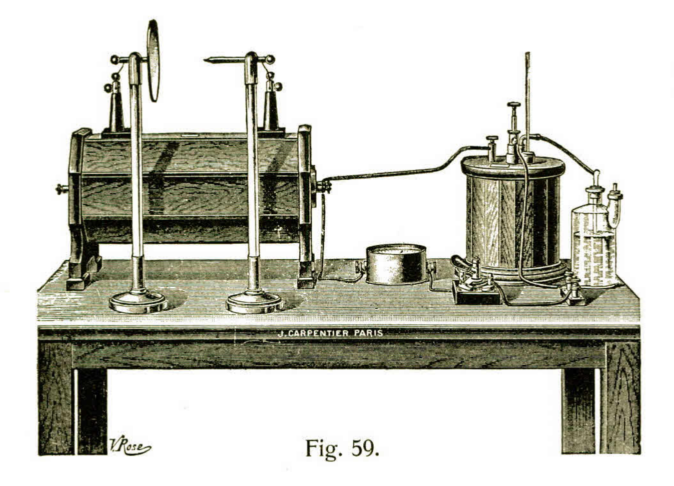


Fig. 59.

4. Dasselbe ist bei den Apparaten von Friedr. Dessauer in Aschaffenburg der Fall, deren Typus aus Fig. 61 erkennbar ist. Der Eisenkern ist von verhältnismäßig großem Durchmesser, ebenso die Sekundärwicklung von starkem Draht, so daß der Induktor recht kräftige Funken liefert.

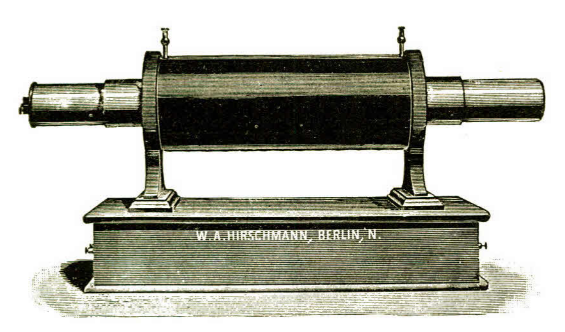


Fig. 60.

5. Ferdinand Ernecke in Berlin,

6. W. A. Hirschmann in Berlin (Fig. 60),

7. Keiser & Schmidt in Berlin

liefern Funkeninduktoren in der typischen deutschen Form. Fig. 64 zeigt einen Apparat der letztgenannten Firma, der

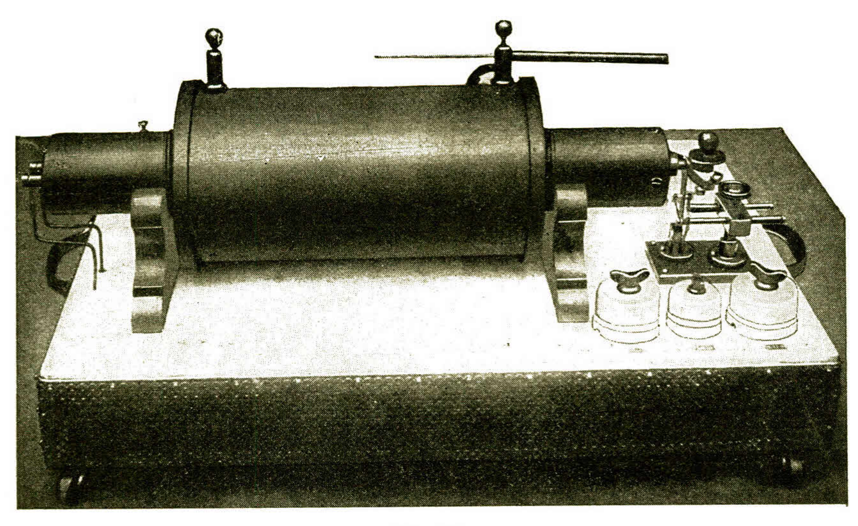


Fig. 61.

einen regulierbaren Kondensator besitzt.

8. Ein gleiches Äußere haben die von Fr. Klingelfuß & Co. in Basel hergestellten Funkeninduktoren (Fig. 62); dieselben sollen sich durch eine viel größere Leistungsfähigkeit den bisher bekannten Induktoren gegenüber auszeichnen, hervorgerufen durch den bedeutend kleineren Widerstand und weitaus bessere Isolation in der sekundären Spule. Letztere ist durch eine eigentümliche staffelförmige Wicklung zwischen gepreßten Isolationsscheiben bewirkt; Fig. 63 zeigt einen Querschnitt durch vier aufeinander

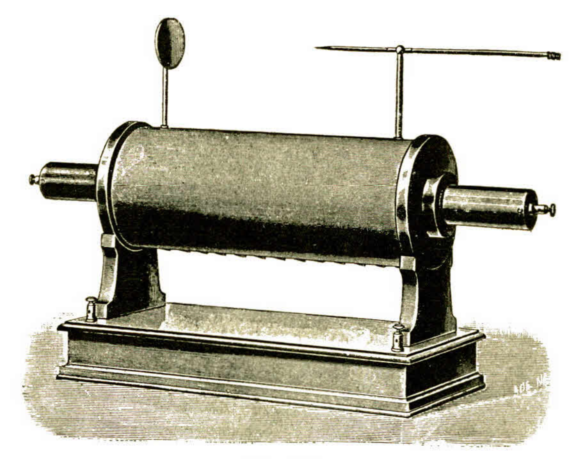


Fig. 62.

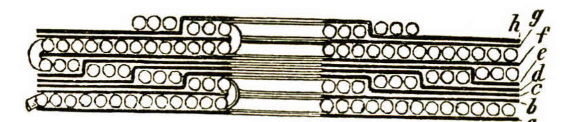


Fig. 63

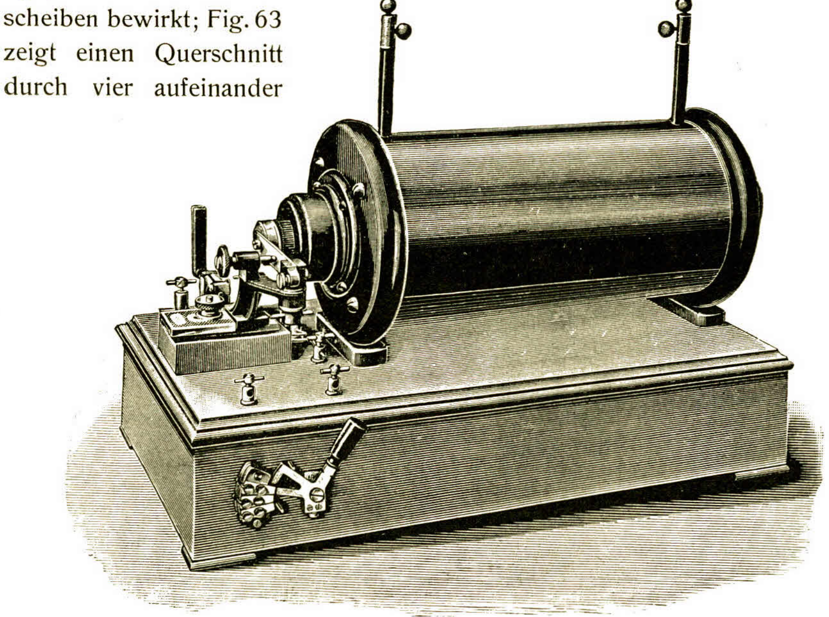


Fig. 64.

folgende Sektionen. Auf die unterste Isolierscheibe *a* werden die Windungen der ersten Lage mittels einer besonderen Maschine von außen nach innen in einer Ebene spiralig aufgeklebt. Auf die Windungen der ersten Lage kommt eine weitere Isolationsscheibe *b*, auf welche zunächst die innersten Windungen der zweiten Lage direkt aufgewickelt werden. Die zweite Lage wird aber in ihrem ferneren Verlauf durch mehrere eigentümlich geformte Isolationscheiben *c*, *d*, *e* unterbrochen, derart, daß die Teile mit höherer Potentialdifferenz weiter voneinander abstehen und durch die Dicke mehrerer Isolationsscheiben getrennt sind, wie aus der Figur deutlich zu ersehen ist.

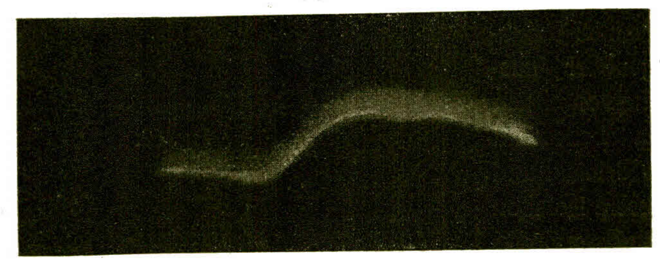


Fig. 65.

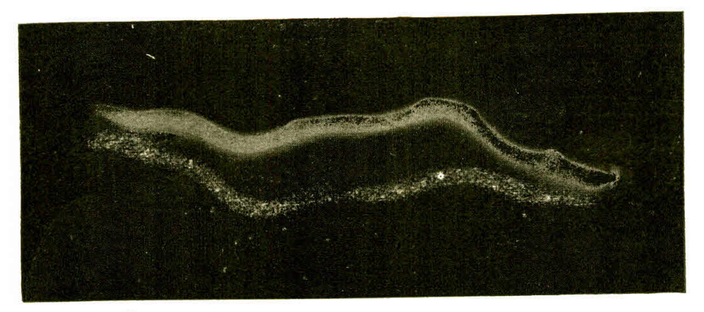
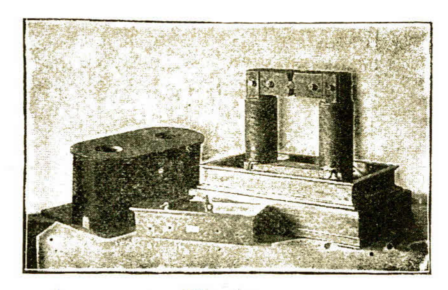


Fig. 66.

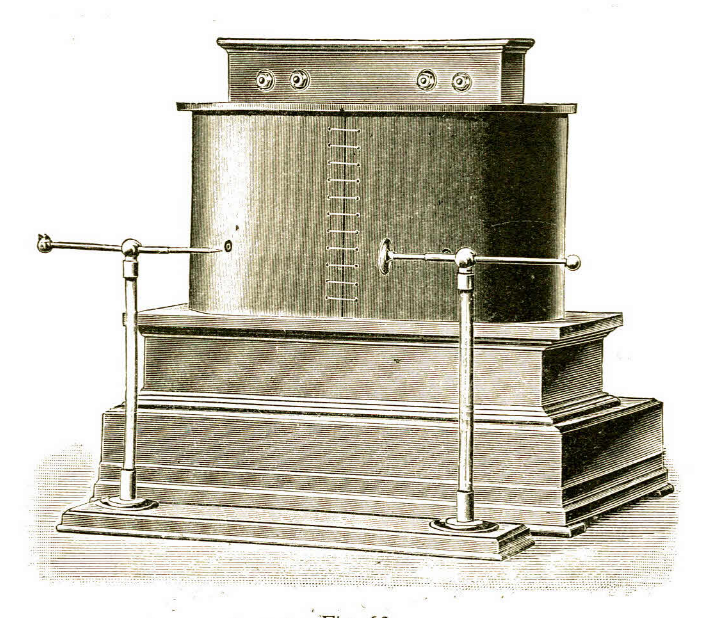
Auf den letzten Teil der zweiten Lage und die Scheibe *e* folgt nun wieder eine flache Isolationsscheibe *f*, auf die die dritte Windungslage nun wieder von außen nach innen gewickelt ist. Die Windungen dieser Lage entfernen sich mit zunehmender Drahtlänge von den einzelnen Windungsteilen der zweiten Lage in entsprechender Weise, wie sich die letztere von der ersten Lage entfernt. Nun setzt sich die Wicklung in genau gleicher Weise wie bei der zweiten Lage fort u. s. w.

Die ganze Spule kann so unter vollkommenster Ausnutzung des Wicklungsraumes aus einem fortlaufenden Draht ohne Lötstellen gewickelt werden, wodurch die beträchtlichen Verluste durch Ausstrahlung an den Verbindungsstellen der scheibenförmig aufgebauten Spulen ganz fortfallen.


Fig. 67.

Außer dieser Konstruktion stellt die Firma noch Induktoren mit besonders starkem Eisenkern her, die bei gleicher Funkenlänge besonders dicke Funken erzeugen, die von einer außerordentlich breiten bis flammenartigen Aureole umgeben sind (Fig. 65).

Dieselbe Firma baut auch einen sogenannten Funkentransformator mit nahezu geschlossenem magnetischen Stromkreise, der sich durch seinen hohen Nutzeffekt und außerordentliche Funkendicke auszeichnet (Fig. 66). Der Kern ist aus U-förmigen Blechscheiben zusammengesetzt und über jedem Schenkel ist eine Hälfte der sekundären Wicklung angeordnet


Fig. 68.

(vergl. Fig. 67). Zum besseren Schließen des magnetischen Stromkreises können noch zwei Polschuhe, ebenfalls von Eisenblechen zusammengesetzt, hinzugefügt werden, welche zwischen sich nur einen schmalen Abstand lassen. Der Widerstand der sekundären Spule beträgt bei 30 bis 35 cm Funkenlänge nur 3200 Ohm. Der Kondensator ist abstöpselbar. Dieser in Fig. 68 abgebildete Funkentransformator eignet sich speziell für hohe Intensitäten.

Auf die Klingelfußschen Induktoren wird später, anläßlich der Untersuchungen an der Hand der Bestimmungsstücke derselben und der von Klingelfuß aufgestellten Theorie, näher eingegangen werden.

9. Max Kohl in Chemnitz liefert den in Fig. 69 abgebildeten Funkeninduktor mit Kondensator. Neben diesem hat die Firma sich speziell auf

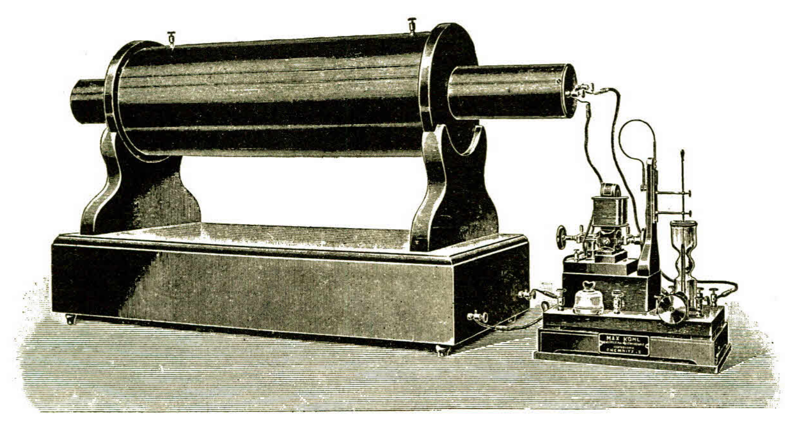


Fig. 69.

den Bau von Induktoren zum Betriebe mittels Flüssigkeits-Unterbrechern gelegt. Dieselben besitzen keinen Kondensator, dafür aber, wie wir später sehen werden, variable Selbstinduktion der Primärspule. Außerdem werden Induktoren speziell für Wechselstrom bei Flüssigkeits-Unterbrecherbetrieb hergestellt.

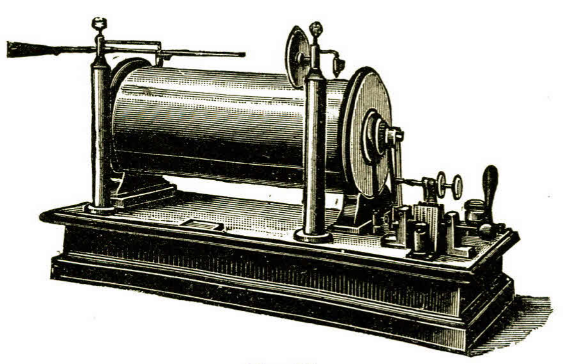


Fig. 70.

10. Dr. Max Levy in Berlin baut Funkeninduktoren bis zu 1 m Schlagweite. In den Fig. 70, 72 und 73 sind solche von 15, 30 und 50 cm Schlagweite dargestellt. Die Hartgummiröhren sind auswechselbar. Die Hauptabmessungen seiner Apparate sind aus Fig. 71 und folgender Tabelle ersichtlich.

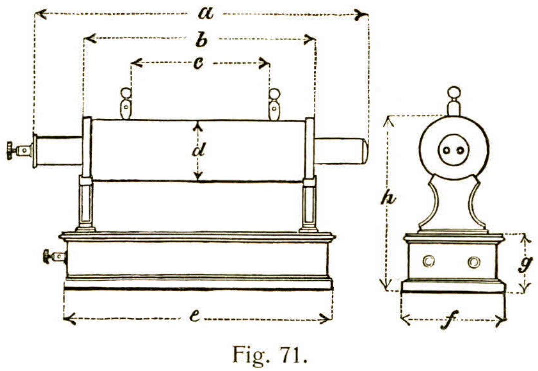


Fig. 71.

Funkenlänge des Induktors	a	b	c	d	e	h	g	f
20	370	330	200	145	450	305	110	230
25	500	380	250	180	550	415	150	280
30	620	460	300	195	575	450	150	350
40	810	620	400	220	700	510	150	350
50	1135	790	500	240	940	600	180	370
60	1210	900	600	265	1025	650	180	380
70	1510	1100	700	290	1200	750	200	400
80	1650	1250	800	310	1400	810	200	400
90	1860	1430	900	335	1610	870	200	420
100	1860	1480	1000	360	1610	930	200	420

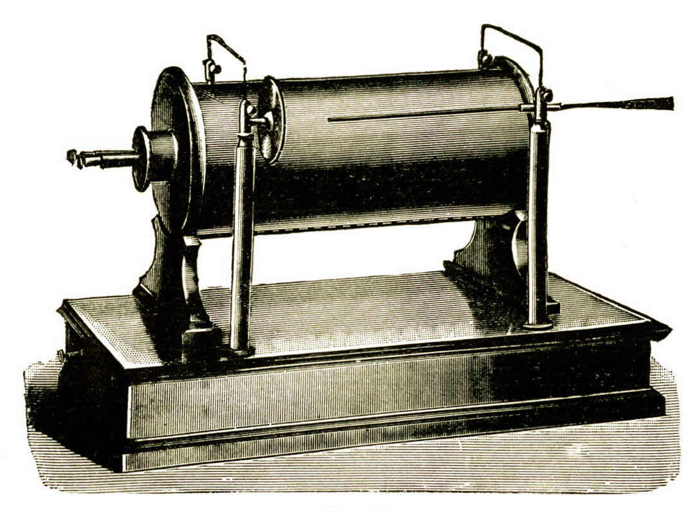


Fig. 72.

11. Radiguet in Paris bettet die sekundäre Spule in ein mit Paraffinöl gefülltes Gefäß.

12. Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen liefern ebenfalls Induktoren für Flüssigkeits-Unterbrecher mit veränderlicher Primärspule, worauf wir später noch zurückkommen werden.

13. Rochefort & Wydts in Paris fertigen Funkeninduktoren in senkrecht stehender Form, eingeschlossen in ein Gefäß, das zum Teil mit einer dickflüssigen Kohlenpasta gefüllt ist, die zur Isolation dient. Die

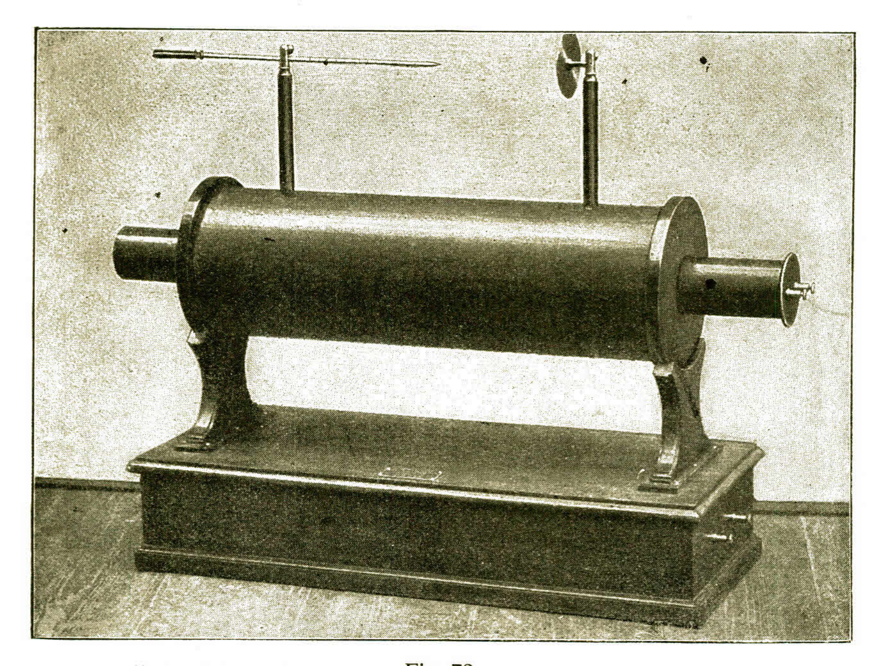


Fig. 73.

sekundäre Spule besteht nur aus einer Sektion (600 Gramm 0,16 Draht), die in der Mitte der Primärspule durch Holzgestell und Glasplatten getragen wird. Die primären Klemmen befinden sich oben, die sekundären seitlich, indem die Enden der Drähte durch seitliche Tuben durchgeführt sind. Infolge des niedrigen Widerstandes der sekundären Spule liefert der Apparat dicke Funken. Zu einer Schlagweite von 20 bis 25 cm ist eine Batterie von 6 Volt Spannung erforderlich und beträgt der Stromverbrauch 3 bis 4 Ampère.

14. Siemens & Halske, A.-G. in Berlin, liefern die Funkeninduktoren in der in Fig. 74 abgebildeten Form. Die Isolierung der Sekundärspule ist durch verhältnismäßig dickes Umgießen der Enden über das sonst übliche Maß ausgedehnt, so daß die Hartgummiröhre nur wenig daraus hervor-

ragt. Die Apparate sind sämtlich mit variabler Primärspule versehen, sowohl bei den Apparaten mit Kondensatoren, die sich für Quecksilber-Unterbrecher und Flüssigkeits-Unterbrecher eignen, als auch bei den speziell für Flüssigkeits-Unterbrecherbetrieb gebauten Apparaten ohne Kondensator.

15. Außerdem liefern noch Funkeninduktoren: Boas in Berlin, Ducretet in Paris, Gaiffe in Paris, Koch in Chemnitz, Seifert & Co. in Hamburg, Voltohm, A.-G. in Frankfurt a. M.

15. Besonders große Apparate.

In folgendem sollen einige Notizen über die größten der bisher gebauten Funkeninduktoren gegeben werden.

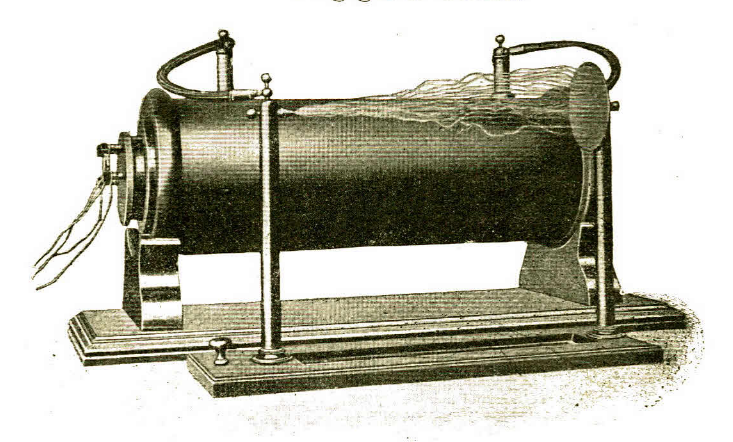


Fig. 74.

Ein bekannter großer Funkeninduktor ist derjenige des Polytechnischen Instituts in London, der von Apps in London gebaut worden ist. Derselbe ist 3 m lang, die Spule 60 cm dick. Der Eisenkern, bestehend aus 1,6 mm dicken Drähten, 1,60 m lang, 10 cm im Durchmesser, wiegt 46 kg. Die Primärspule besteht aus zwölf Lagen eines 2,5 mm starken Drahtes 6000 Windungen = 3450 m lang, 2,2014 Ohm Widerstand. Die Sekundärspule wird aus einem 0,4 mm starken, doppelt mit Seide besponnenen Kupferdraht, dessen Länge 241 km beträgt, gebildet, und hat dieselbe einen Widerstand von 33560 Ohm. Die Spule ist aus 200 Sektionen aufgebaut, jede derselben ist 3 mm dick. Zur Isolation dient ein 2,5 m langes, 1,5 cm dickes Hartgummirohr. Bei einer Betriebsspannung von 100 Volt gibt der Apparat Funken von 75 cm Länge.

Von demselben Fabrikanten rührt der Spottiswoodesche Funkeninduktor her. Er ist nicht so lang wie der vorher beschriebene, dafür aber dicker,

und besitzt zwei primäre Wicklungen sowie zwei Eisenkerne. Für lange Funken besteht der Eisenkern aus einzelnen Drahtstäben von 0,75 mm Durchmesser, 1,20 m Länge und 9 cm Bündeldicke; die Primärspule hat sechs Lagen = 1344 Windungen eines 2,5 mm dicken Kupferdrahtes = 2,3 Ohm Widerstand; sie ist 1,10 m lang und hat 10 cm äußeren Durchmesser. Für kurze, kräftige Funken, welche zu spektroskopischen Untersuchungen dienen sollen, besteht der Eisenkern aus gleich dicken Drahtstäben, ist 1,20 m lang und hat 10 cm im Durchmesser. Die Primärspule hat drei Lagen eines dicken Drahtes, jede Lage hat bezw. 0,18, 0,21, 0,23 Ohm Widerstand; sie ist im ganzen 1,10 m lang und hat 14 cm äußeren Durchmesser. Die einzelnen Lagen können beliebig geschaltet werden. Die sekundäre Spule ist 1 m lang bei 50 cm äußerem, 25 cm innerem Durchmesser; sie besteht aus 341 850 Windungen eines ca. 0,25 mm dicken Drahtes, der in vier Teilspulen gewickelt ist, von denen die inneren mit etwas dünnerem Draht als die äußeren gewickelt sind, um Ladungserscheinungen zu vermindern. Jede Teilspule besteht aus zahlreichen Einzelsektionen.

Bei Anwendung der erstgenannten Primärspule liefert der Apparat, bei einer Betriebsspannung von 60 Volt, Funken von 1,15 m Länge, bei Benutzung der zweiten Primärspule gibt der Apparat bei einer Betriebsspannung von 20 Volt 90 cm lange Funken.

Ein anderer großer Funkeninduktor ist von Heinze in Boston für Professor John Trowbridge angefertigt worden. Derselbe ist nur in eine Umhüllung geschlossen, die sekundären Spulen nicht mit Isoliermasse umgossen, so daß man sie leicht besichtigen und auswechseln kann.

Der Eisenkern ist 1,25 m lang, 9 cm dick.

Die Primärspule hat nur eine Lage eines 5 mm dicken Kupferdrahtes. Die Sekundärspule wird gebildet aus 140 Sektionen, die voneinander durch 3 bis 4 cm dicke Glasplatten isoliert sind. Jede Sektion besteht aus 500 Windungen und beträgt der Gesamtwiderstand 246 600 Ohm. Der Apparat liefert bei 110 Volt Betriebsspannung und 10 Ampère dicke Funken von 85 cm Länge.

Einen der größten Induktoren, für 1,5 m Funkenlänge, fertigte Fr. Klingelfuß in Basel für die Weltausstellung in Paris 1900. Fig. 75 gibt ein Bild dieses Apparates.

Ein von derselben Firma gefertigter Funkeninduktor für 1 m Funkenlänge hat folgende Hauptmaße:

Der Eisenkern ist aus weichen Blechen zusammengesetzt, hat quadratischen Querschnitt von 55 cm Seite und ist 2 m lang. Sein Gewicht beträgt 85 kg.

Die Primärwicklung enthält 800 Windungen eines gut isolierten Kupferdrahtes von 0,03 qcm Querschnitt.

Die Sekundärspule hat 86000 Windungen eines nach dem bereits auf S. 51—52 ausführlich angegebenen System fortlaufend gewickelten Drahtes. Der Kondensator hat eine Kapazität von 0,1 Mikrofarad. Die Betriebsstromstärke beträgt ca. 20 Ampère.

Von Dr. Max Levy in Berlin wurde ebenfalls für die Pariser Weltausstellung ein Funkeninduktor von 1 m Schlagweite angefertigt. Der

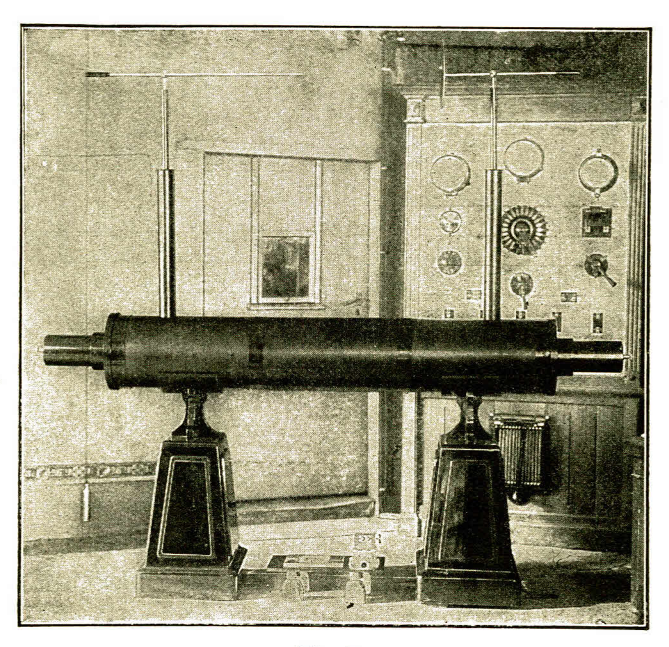


Fig. 75.

eiserne Primärkern hat eine Länge von 1,3 m, ist 70 mm im Durchmesser und aus einzelnen Drähten von 1,5 mm zusammengesetzt. Die primäre Windungszahl beträgt 340 und ist dazu ein Draht von 3 mm Dicke verwendet. Die Isolierung der Primärspule von der sekundären ist durch drei übereinander geschobene Hartgummiröhren bewirkt, weil es leichter ist, drei schwächere Röhren, als ein starkes Rohr fehlerfrei herzustellen. Das Innenrohr ist 1,860 m, das Mittelrohr 1,650 m, das Außenrohr 1,420 m lang. Die seitlich auf zwei Böcken und in der Mitte auf einer Hartgummistütze gelagerte sekundäre Spule besitzt einen äußeren Durchmesser von 360 mm. Sie enthält ca. 100000 Windungen oder ca. 160 km mit Seide besponnenen Kupferdraht. Der in einem Abstande von 320 mm von der sekundären

Spule befindliche Kondensatorkasten ist 1,610 m lang, 0,420 m breit, 0,200 m hoch. Die wirksame Fläche des Kondensators beträgt zweimal 30 qm.

Dieser Induktor war für eine Betriebsspannung von 110 Volt gebaut, wurde jedoch in Paris direkt an das 220 Voltnetz angeschlossen.

In Fig. 76 ist eine graphische Darstellung der Abhängigkeit der Funkenlänge von der Betriebsstromstärke für diesen Induktor gegeben, die für 1000 Unterbrechungen pro Minute gilt.

Neuerdings hat dieselbe Firma einen anderen Apparat für die gleiche Schlagweite gebaut, der folgende Daten aufweist:

Länge des Primärkerns 2,1 m, 60 kg Gewicht;

Sekundärspule von Hartgummiabschlußscheibe zu Scheibe 1,48 m;

Durchmesser der Sekundärspule: innen 150 mm, außen 360 mm, 20 kg sekundäres Kupfer.

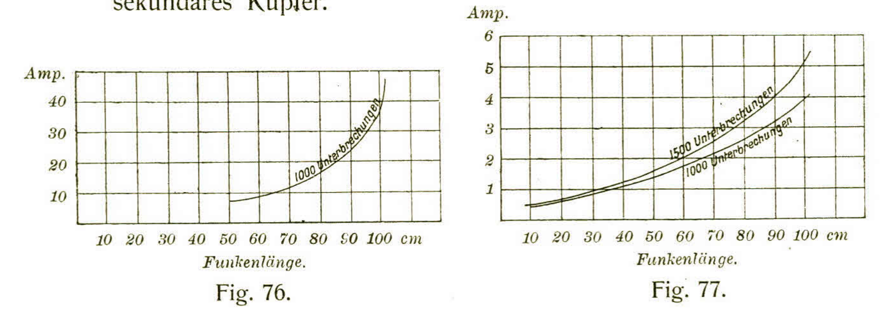


Fig. 76. Fig. 77.

Fig. 77 gibt die Abhängigkeitskurve der Schlagweiten und Betriebsstromstärke bei 1000 und bei 1500 Unterbrechungen in der Minute mittels Quecksilberstrahl-Unterbrecher und 110 Volt Betriebsstromspannung. Mit einem Plättchen-Unterbrecher konnte bei 12 Ampère Stromstärke eine Funkenlänge von 93 cm erreicht werden.

Von Queen & Comp. in Philadelphia sind für die Zwecke der Funkentelegraphie an die japanische Regierung zwei große Funkeninduktoren geliefert worden. Der Eisenkern besteht aus Drahtstäben, ist 13 cm dick, 1,2 m lang und wiegt 110 kg. Die Sekundärspule enthält 160 km dünnen Kupferdraht, der in Sektionen gewickelt ist; sie ist des leichteren Transportes wegen in zwei Teilen hergestellt. Dieser Induktor gab bei 25 Volt und 20 Ampère Funken von 1,20 m Länge.

Fig. 78 zeigt einen Funkeninduktor der A.-G. Siemens & Halske in Berlin, der auf der vom Elektrotechnischen Verein veranstalteten Ausstellung elektrotechnischer Neuheiten 1902 im Betriebe vorgeführt wurde. Zum Betriebe diente ein Quecksilberstrahl-Unterbrecher und lieferte der Apparat bei 110 Volt Betriebsspannung und ca. 30 Ampère Stromstärke dicke Funken von 1 m Länge.

16. Untersuchungen an Funkeninduktoren.

Fr. Klingelfuß in Basel hat vor kurzem eine Untersuchung*) über den rationellen Bau von Funkeninduktoren angestellt, um die Abhängigkeit der Funkenlänge von den Windungszahlen, den Einfluß des Eisenkernes und des Kondensators sowie die zu einer bestimmten Funkenlänge erforderliche elektromotorische Kraft in der sekundären Spule zu ermitteln.

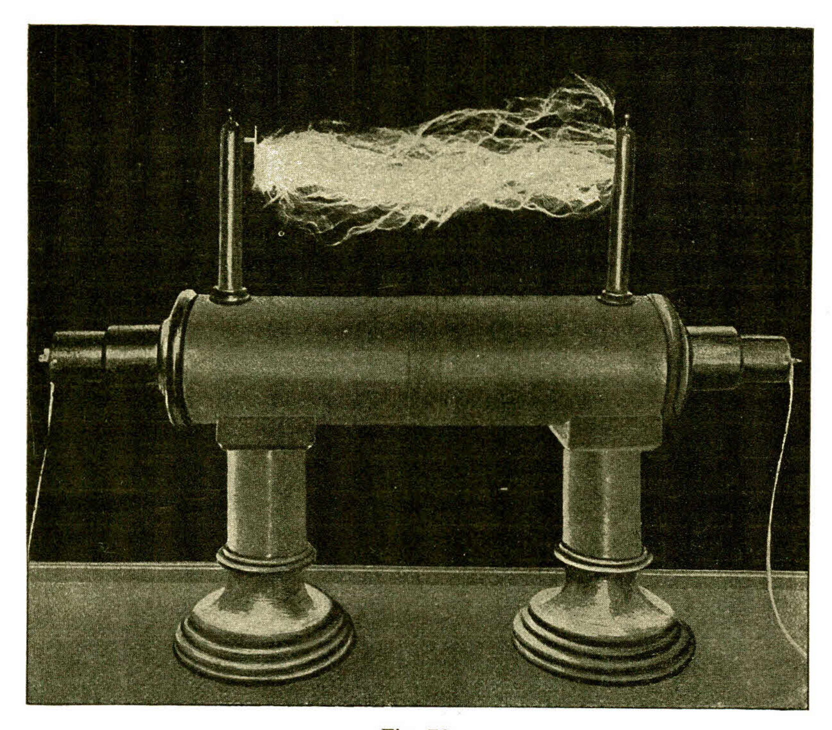


Fig. 78.

Zunächst stellt er fest, daß die Funkenlänge der sekundären Spule in gleichem Verhältnis mit der Windungszahl wächst, falls die Magnetisierung des Eisenkerns und die Größe des Kondensators während der Versuchsreihe nicht geändert wird.

Verwendet man statt der offenen, stabförmigen Magnetkerne nahezu geschlossene Kerne, wie es z. B. bei den Klingelfußschen Funkentransformatoren (vergl. S. 53) der Fall ist, so zeigt sich, daß die Induktionswirkung

*) Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel. 1900. Bd. XIII, Heft 2.

wächst, die Entladungsfunken werden nicht nur länger, sondern auch dicker. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Tabelle I.

Anzahl der sekund. Windungen	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
Funkenlänge bei offnem Eisenkern in Centimetern	6	8,5	11	13,5	16	18,5	21	23,5
Funkenlänge bei fast geschloßnem Eisenkern . . .	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5

Der Spalt beim Elektromagneten muß eine ganz bestimmte Breite haben, um die maximale Wirkung zu erhalten, er betrug 1 cm; bei ganz geschlossenem Eisen geht die Leistung erheblich zurück.

Leider konnten mit einem Eisenkern von nahezu geschlossener Form die Beobachtungen nicht über 42,5 cm Funkenlänge fortgesetzt werden, weil sich sonst die auf beiden Schenkeln untergebrachten Spulenhälften der sekundären Spule mit ihren Windungen größter Potentialdifferenz derart näherten, daß die Entladung bei weiterer Steigerung der Spannung zwischen den beiden Spulen erfolgt wäre. Um obige Versuche machen zu können, waren die Spulen bereits mit einem flüssigen Isolator umgeben worden; die Beobachtungen für größere Funkenlängen als 42,5 cm wurden deshalb an einem ungeschlossenen, stabförmigen Elektromagneten fortgesetzt. Diese Resultate erhält folgende Tabelle:

Tabelle II.

Windungszahl	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	84000
Funkenlänge in Centimetern	23,5	35	47,5	58,5	71,5	83,5	96	100

Die dazu verwendeten Eisenkerne waren aus besten schwedischen Eisenblechen von 0,5 mm Dicke hergestellt, sie hatten Quadratquerschnitt mit gebrochenen Ecken. Die Seite des Quadrats ist etwa $^1/_{20}$ der Länge des Eisenkerns. Ist der Querschnitt in Bezug auf die Länge sehr groß, z. B. die Quadratseite nur $^1/_{12}$ der Kernlänge, so erhöhten sich die erreichbaren Funkenlängen um ca. 25 $^0/_0$.

Aus den Tabellen geht außerdem hervor, daß sich die zum Durchschlagen einer gewissen Funkenstrecke erforderliche Potentialdifferenz an den Enden der sekundären Spule schon mit einer beträchtlich kleineren

Anzahl von Drahtwindungen erreichen läßt, als bei den gewöhnlich im Handel vorkommenden Induktoren vorhanden sind. Zum Beispiel hat ein Carpentier sches Induktorium bei 45 cm Funkenlänge 153000 sekundäre Windungen, während Klingelfuß dieselbe Schlagweite schon mit 38000 Windungen erzielte. Allerdings setzen solche Spulen mit wenigen Windungen und hoher Potentialdifferenz ihrer Enden eine bedeutend bessere Isolierung voraus, was bei den Klingelfußschen Induktoren tatsächlich erreicht ist. Damit die sonst übliche Hintereinanderschaltung der Teilspulen durch die Verbindungen ihrer Drahtenden und deren Spitzenwirkung wegfalle, wickelt Klingelfuß sämtliche Teilspulen aus einem fortlaufenden Draht, wie wir auf S. 51 bereits kennen gelernt haben.

Der Verfasser geht ferner auf die Bedeutung des Extrastromes für die induzierte Spannung ein. Würde man die Spannung des zur Magnetisierung des Eisenkerns dienenden Stromes als die primäre Spannung voraussetzen und aus dieser, mit dem Verhältnis der Windungszahlen beider Spulen, die sekundäre Spannung berechnen, so würde man finden, daß sich eine solche ergibt, die gerade hinreicht, einen Funken von einigen Millimetern, statt wie es in Wirklichkeit der Fall ist, einen solchen von vielen Centimetern zu erzeugen. Folglich müssen in der primären Spule viel höhere Spannungen herrschen, und zeigt Klingelfuß, auf die Spannungen des Extrastromes näher eingehend, daß dieselbe das 100 bis 200fache der Spannung des Erregerstromes betragen kann. Während nun der Magnetisierungsstrom nach erfolgter Unterbrechung rasch auf Null abfällt, was ein Verschwinden der magnetischen Kraftlinien zur Folge hat, kann der Extrastrom nach erfolgter Unterbrechung des Magnetisierungsstromes zwischen der primären Spule und dem Kondensator schwingen, wobei derselbe der Eigenperiode des Systems entsprechend oscilliert.

Diesen Wechseln muß aber die Ummagnetisierung des Eisenkerns folgen, und die dadurch hervorgebrachte schnelle Änderung des Magnetfeldes ist es, welche die außerordentlich hohen elektromotorischen Kräfte in der sekundären Spule induziert. Die schnelle Unterbrechung des Magnetisierungsstromes dient also gleichsam nur als Anstoß und verhütet gleichzeitig, daß der induzierte Extrastrom sich zwischen den Unterbrecherkontakten ausgleicht; je schneller die Unterbrechung erfolgt, ein um so größerer Teil des Extrastromes wird übrig bleiben, um die Magnetisierungswechsel und die dadurch bewirkte eigentliche Induktionswirkung hervorzubringen.

Wegen der großen Bedeutung des Extrastromes hat Klingelfuß eine Reihe von Spannungsmessungen desselben mittels eines parallel zum Kondensator geschalteten Funkenmikrometers angestellt. Während die Funkenlängen am Kondensator vollständig proportional der Stromstärke zunehmen, wenn sich keine sekundäre Spule über der primären befindet, ist dies bei

übergeschobener Sekundärspule nicht mehr ganz der Fall. Dies liegt, wie wir später sehen werden, daran, daß die Spannung bei Funken mit größerer Stromstärke zunimmt, gleichgültig, ob die durchschlagene Strecke größer oder kleiner ist.

Schließt man aus der Länge der Funken am Kondensator auf die Spannung des Extrastromes, so ist letztere dem Magnetisierungsstrom nahezu proportional.

Gleichzeitig geht daraus hervor, daß der primäre Extrastrom (bei gleicher Kapazität und gleicher Stromstärke) eine um so höhere Spannung haben wird, je weniger Windungen im sekundären Stromkreise vorhanden sind.

Die Kondensatoren müssen daher eine um so stärkere Isolation haben, je kleiner die Windungszahl in der sekundären Spule ist, mit welcher eine gewisse Funkenlänge erreicht werden soll.

Aus dem Verhältnis der Windungszahlen beider Spulen und der Spannung des Extrastromes ergeben sich folgende Werte:

Werte: Funkenlänge .	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Centimeter
Spannung	107	156	183	220	267	323	387	473	618	Tausend Volt

die bei Anwendung verschiedener sekundärer Spulen untereinander und mit den Angaben anderer Beobachter übereinstimmen.

Setzt man voraus, daß die magnetische Induktion bei den von Klingelfuß untersuchten Induktoren nicht über 10000 Einheiten betragen hat, so kann man als erste Annäherung bei der Abhängigkeit zwischen Magnetisierungsstrom und magnetischer Induktion eine direkte Proportionalität zwischen sekundärer Spannung und dem Magnetfelde annehmen. Anders verhält es sich mit der Abhängigkeit zwischen Funkenlänge und Spannung, zwischen denen keine Proportionalität stattfindet. Auf diesen Umstand ist bereits hingewiesen, da die Spannung eines Funkens nicht allein von dem Widerstande der durchschlagenen Luftstrecke, sondern auch von der Stromstärke des Funkens abhängt. Wird die Kapazität des Kondensators nicht verändert und die Magnetisierung auf gleiche Höhe gebracht, so induziert das Induktorium, unabhängig von der Länge der sekundären Funken, innerhalb der Belastungsgrenzen auf gleichbleibende Spannung — ein Gesetz, das mit dem für technische Transformatoren Ähnlichkeit hat.

Schließlich untersucht Klingelfuß den Einfluß des Kondensators auf den primären Extrastrom. Er stellt fest, daß man mit jedem, auch einem zu großen Kondensator, eine bestimmte Funkenlänge erzielen kann, wenn man nur den Betriebsstrom passend wählt. Die Spannung am Kondensator muß für die bestimmte Funkenlänge eine gewisse sein, derart, daß dieselbe, mit dem Verhältnis der Windungszahlen multipliziert, die für die geforderte

Funkenlänge im Minimum notwendige Spannung ergibt. Nun zeigt sich aber der merkwürdige Umstand, daß die so erhaltenen Funken einer bestimmten Schlagweite, bei Vergrößerung des Kondensators und gleichzeitiger Vermehrung der Stromstärke, immer dicker werden, was scheinbar im Widerspruch mit den früheren Ergebnissen steht, wonach ein Funke von konstanter Länge höhere Spannung hat, wenn die scheinbare Elektrizitätsmenge in der Entladung größer ist. Klingelfuß weist nach, daß Funken von scheinbar gleicher Dicke und gleicher Länge ganz verschiedene Spannungen haben können, und zwar eine niedrigere Spannung bei größerem Kondensator, eine höhere mit kleinerem Kondensator, wenn der Betriebsstrom unverändert gelassen wird. Dies Verhalten ist in der Eigenschwingung des Systems begründet, welche man aus dem Abstande zweier aufeinander folgenden Funken einer ausgeblasenen Einzelentladung (Fig. 79) bestimmen

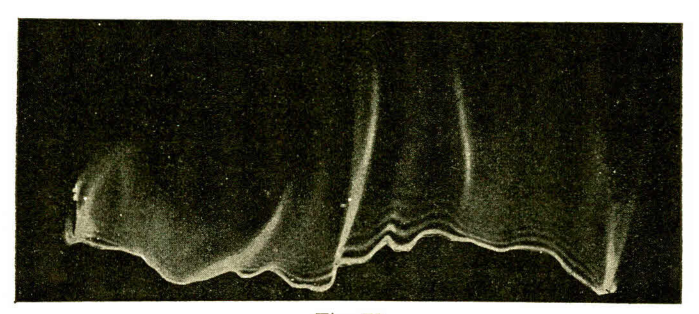


Fig. 79.

kann. Berücksichtigt man diese verschiedene Periode, so ergibt sich tatsächlich, daß Entladungen bei unveränderter Länge der Luftstrecke eine andere Spannung haben müssen, wenn der Betriebsstrom oder die Kapazität einseitig geändert wird. Dieselbe behält für verschiedene Betriebsstromstärken und Kapazitäten nur dann den gleichen Wert, wenn das Verhältnis von Magnetisierungsstromstärke zu dem Produkte aus Kapazität und Eigenperiode des primären Stromkreises proportional ist. Mit Rücksicht auf diesen Umstand, daß in diesem Falle eine Spule zu ihrer höchsten Leistungsfähigkeit gebracht werden kann, ohne die Spannung in einer die Isolation gefährdenden Weise zu erhöhen, bezeichnet Klingelfuß alsdann Kapazität und Betriebsstrom in Bezug auf die Spule im Normalzustand.

Nur die im Normalzustande induzierte Spannung und die Größe des Grenzbereichs, innerhalb welcher der Normalzustand durch Veränderung der Magnetisierungsstromstärke und Kapazität hergestellt werden kann, gibt ein wahres Bild der Leistungsfähigkeit einer Spule.

Fünftes Kapitel.

Die Unterbrecher für Gleich- und Wechselstrom.

Die Stromunterbrecher, denen wir uns im folgenden Abschnitte zuwenden, haben in letzter Zeit einen hohen Grad technischer Vollkommenheit erreicht, so daß sie den meisten Anforderungen, welche man nach der bereits gegebenen Erklärung über die Wirkung eines Induktors an einen solchen Apparat stellen muß, genügen. Bei großer Gleichmäßigkeit und hoher Frequenz soll ein guter Unterbrecher exakt und vollständig Ströme hoher Stromstärke wie Spannung gleichmäßig gut unterbrechen und möglichst geräuschlos arbeiten — wenn letzteres auch auf die Wirkung des Induktors ohne Einfluß ist.

Man kann die zahlreichen Unterbrecher einteilen in

a) Platin-Unterbrecher, bei denen die Unterbrechung zwischen Metallen, vorzugsweise zwischen Platin und Platin erfolgt;

b) Quecksilber-Unterbrecher, bei denen ein fester und ein flüssiger Leiter (Quecksilber) zur Anwendung kommt und

c) Flüssigkeits-Unterbrecher, bei denen die Unterbrechung zwischen Metall und einem Elektrolyten — oder innerhalb eines Elektrolyten stattfindet.

Einige dieser Unterbrecher sind sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom brauchbar, die meisten jedoch nur für Gleichstrom.

Außerdem kann man die Unterbrecher auch danach unterscheiden, ob dieselben automatisch wirken oder einen besonderen Antrieb erfordern.

1. Die Unterbrecher für Gleichstrom.

a) Platin-Unterbrecher.

Der einfachste Unterbrecher ist der nach dem Prinzip des Wagner-Neefschen Hammers konstruierte Platin-Unterbrecher, den wir bereits

besprochen haben (vergl. S. 3). Er läßt sich jedoch nur für kleine Induktoren bis zu etwa 15 cm Funkenlänge anwenden und gibt nur 15 bis 20 Unterbrechungen pro Sekunde. Um seine Frequenz zu erhöhen und die Unterbrechungen plötzlicher zu machen, hat man ihn in mehrfacher Weise abgeändert. Bei dem Deprez-Unterbrecher (Fig. 80) wird ein um seine Mitte schwingender Eisenanker durch Federkraft mit einem am Anker befestigten Platinstück gegen ein zweites, verstellbar angeordnetes Stück gepreßt. Je stärker man die Stellfeder spannt, um so schneller und plötzlicher erfolgen die Unterbrechungen, doch darf die Federspannung der magnetischen Anziehung des Ankers nicht gleich kommen, weil sonst die Platinkontakte aneinander haften bleiben würden. Zum guten gleichmäßigen Funktionieren des Deprez-Unterbrechers ist es erforderlich, daß das an dem Eisenbalken, gegenüber der Unterbrechungsstelle befestigte Messingplättchen, welches

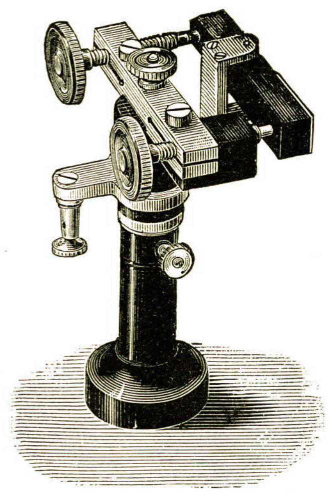


Fig. 80.

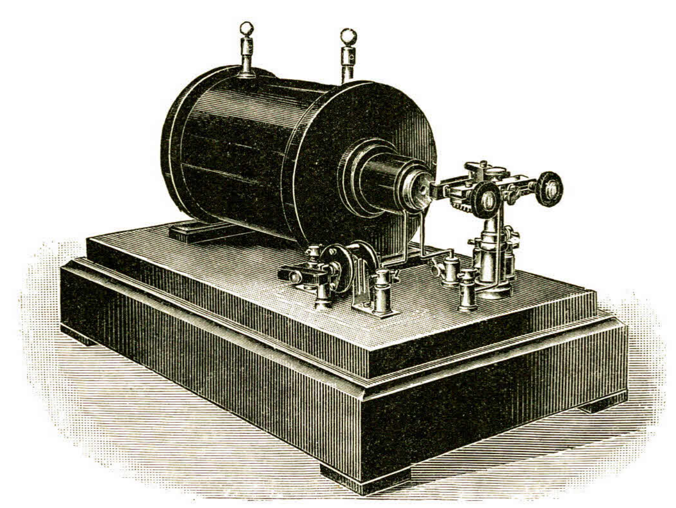


Fig. 81.

den magnetischen Schluß zwischen Anker und Induktorkern verhindern soll, nicht weiter als 1 mm vom Magnetkern entfernt sei. Man erreicht diese Einstellung leicht durch Drehen des Unterbrechers um die in der Säule steckende Achse.

Die Wirkungsweise des Drepez-Unterbrechers ist die gleiche wie beim Hammer-Unterbrecher, jedoch erfolgen die Schwingungen viel schneller (etwa 15 bis 40 pro Sekunde) und der Unterbrecher arbeitet mit geringerem Geräusch. Fig. 81 zeigt einen kleineren, mit Deprez-Unterbrecher ausgerüsteten Induktor.

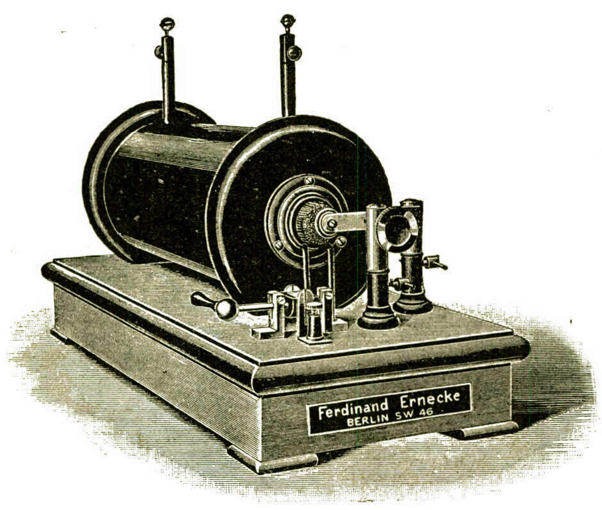


Fig. 82.

In Fig. 82 und 83 ist die Anbringung eines Hammer- und eines Deprez-Unterbrechers an einem Induktor von Ferdinand Ernecke in Berlin dargestellt. Durch Lösen der beiden Säulenschrauben kann der eine Unterbrecher entfernt und durch den andern ersetzt werden.

Siemens & Halske in Berlin benutzen eine vertikale Anordnung des Deprez-Unterbrechers, wie Fig. 84 zeigt.

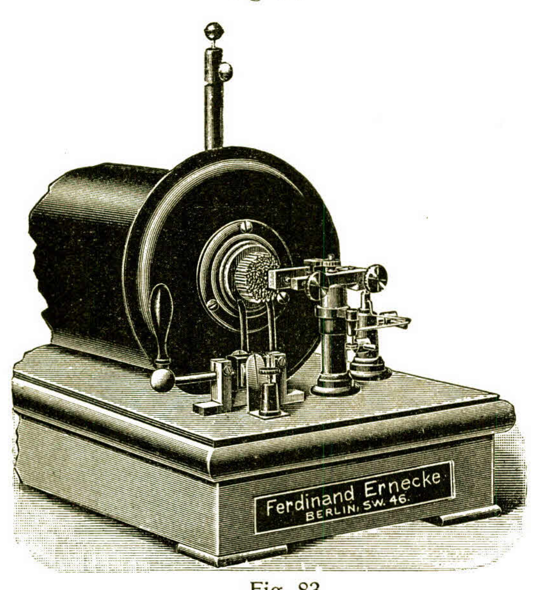


Fig. 83.

Fig. 85 stellt die englische, von Apps konstruierte Type des Deprez-Unterbrechers dar. *H* ist der an einer Blattfeder *F* befestigte Hammer aus Eisen mit dem Platinkontakt *P*. Die Stellschraube *S*, welche durch den Kontaktständer isoliert hindurchgeführt ist, gestattet es, die Federspannung zu regulieren.

Bei geringer Betriebsspannung (Akkumulatorenbetrieb) und Induktoren bis zu 30 cm Schlagweite wird sich die Anwendung des Deprez-Unterbrechers überall da empfehlen, wo es auf hohe Frequenz an-

kommt, z. B. für Röntgenzwecke bei Beobachtungen mittels Fluoreszenzschirms, zur Abkürzung der Expositionszeit bei photographischen Aufnahmen u. s. w.

Eine Modifikation des Deprez-Unterbrechers ist der Vril-Unterbrecher. Derselbe bewirkt eine verlängerte Kontaktdauer, wodurch der Eisenkern des Induktors bis zur Sättigung magnetisiert werden kann. Es resultiert daraus wohl ein größerer Stromverbrauch, allein es ist auch die in der sekundären Wicklung induzierte elektromotorische Kraft eine bedeutend größere. Wie aus Fig. 86 zu erkennen ist, wird bei dem Vril-Unterbrecher eine besondere Feder F_1 für das vibrierende Kontaktstück P angewendet. Die Armatur H kann sich ein Stück bewegen, ehe sie die vor ihr angebrachte Kontaktfeder F_1 mitnimmt, welch letztere nunmehr den Strom im Primärkreise

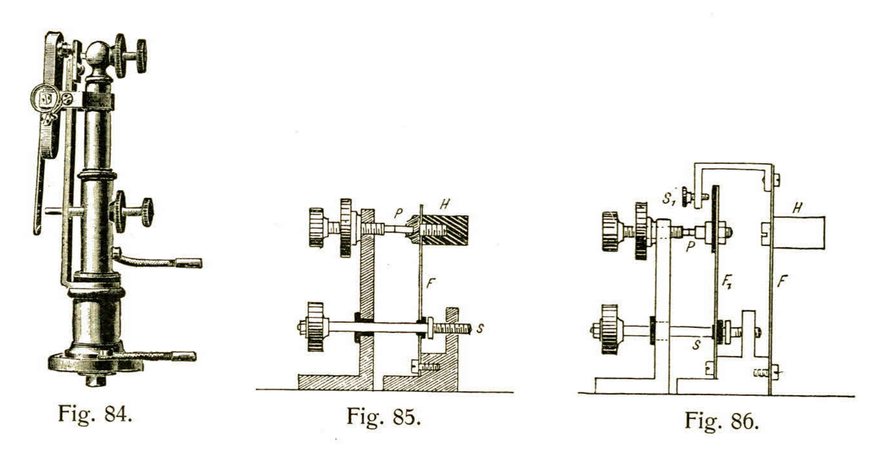


Fig. 84. Fig. 85. Fig. 86.

plötzlich öffnet. Durch die Schraube S_1 kann die Dauer des Kontaktes reguliert werden; je weiter man die Schraube S_1 von dem Anschlagstück entfernt, um so länger ist die Zeit des Stromschlusses und um so plötzlicher erfolgt die Unterbrechung. Es ist damit ein Mittel in die Hand gegeben, um die Intensität der Entladung zu variieren, was besonders für Röntgenzwecke vom größten Wert ist, weil man so in einfachster Weise den Induktor dem Zustande der Röhre anpassen kann. Außerdem hat der Vril-Unterbrecher den Vorzug, daß sich die Platinkontaktstücke nur wenig erhitzen, nie kleben und sich weniger abnützen als bei den vorher beschriebenen Platin-Unterbrechern.

Bei kleineren Induktoren oder wenn eine geringere Unterbrechungszahl gewünscht wird, kann die Schwingungszeit der Hammerfeder durch eine an einer Verlängerungsstange angebrachte verstellbare Kugel herabgesetzt werden, was kräftigere Entladungen zur Folge hat (Fig. 87

Funkeninduktor 25 cm Schlagweite mit Vril-Unterbrecher von Dr. Max Levy in Berlin.)

Eine andere Modifikation des Hammer-Unterbrechers ist der Platin-Unterbrecher mit regelbarer Geschwindigkeit der Allgemeinen

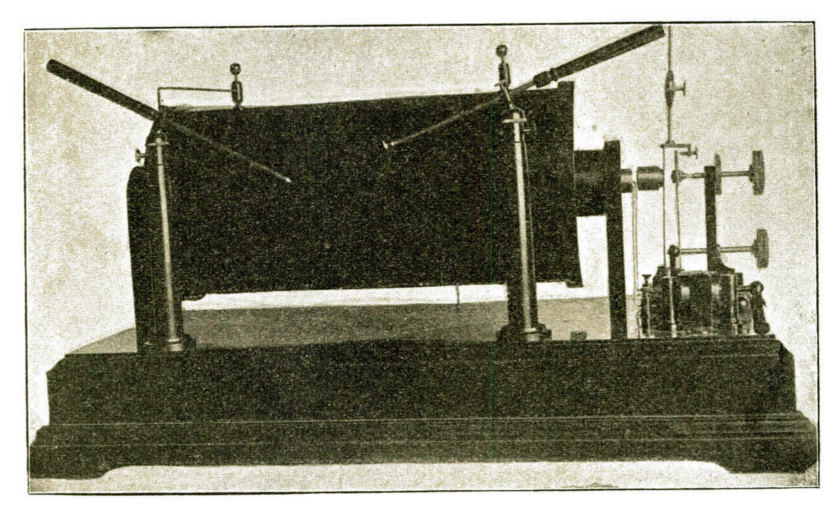


Fig. 87.

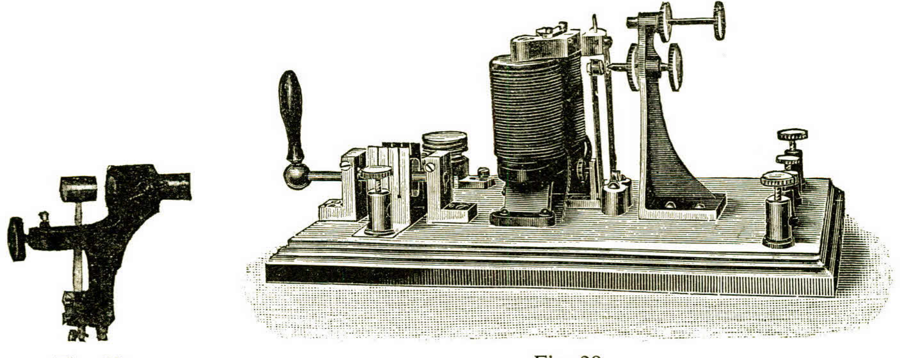


Fig. 88. Fig. 89.

Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin (Fig. 88). Die Variation der Frequenz wird hierbei durch eine Konterfeder erzielt, die der Hammerfeder entgegenwirkt und deren Schwingung durch Veränderung ihrer Länge verändert werden kann. Die Figur läßt die sehr einfache Befestigung eines derartigen Unterbrechers an dem Eisenkern des Induktors erkennen. Auch dieser Unterbrecher ist nur für kleinere Induktoren verwendbar.

Die Präzisions-Platin- oder Platin-Rapid-Unterbrecher werden zuweilen für größere Induktoren angewendet. Sie haben insofern eine Ähnlichkeit mit dem Vril-Unterbrecher, als das Abreißen des Kontaktes durch eine besondere, den Hammer tragende Feder erfolgt, so daß letztere bereits eine gewisse größere Geschwindigkeit hat, wenn das Abreißen erfolgt.

Fig. 89 zeigt den von Dr. Max Levy in Berlin hergestellten Präzisions-Platin-Unterbrecher der in Verbindung mit einem Stromwender, Sicherung, Anschlußklemmen etc. als besonderer Apparat ausgebildet ist, so daß er

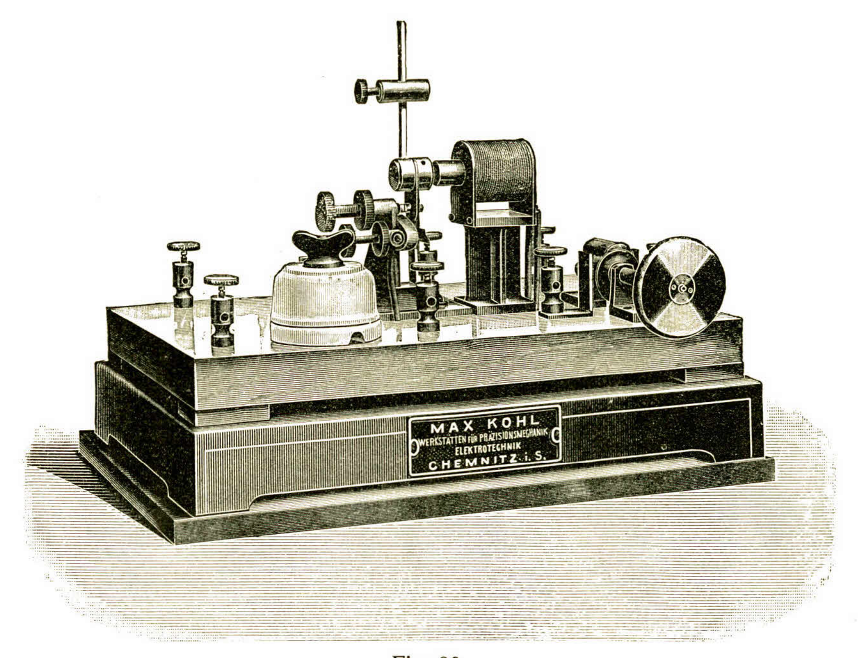


Fig. 90.

zu jedem vorhandenen Induktorium paßt. Der Elektromagnet des Unterbrechers wird mit der Primärspule des Induktors hintereinander geschaltet.

Da bei höherer Spannung im Primärstrome die Platinkontakte leicht aneinander schweißen, so hat man die Bewegung des Hammers durch einen besonderen Elektromagnet und eine zur Speisung desselben dienende besondere Batterie erfolgen lassen. Letztere kann durch eine Abzweigung von der Betriebsleitung ersetzt werden.

Fig. 90 stellt einen derartigen Platin-Rapid-Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz i. S. dar, der noch für Induktoren bis zu 60 cm verwendbar ist.

Bei allen Platin-Unterbrechern ist eine Abnutzung der Kontakte unvermeidlich. Um ein gutes Funktionieren dieser Unterbrecher herbeizuführen,

ist es nötig, die durch die Unterbrechungsfunken verbrannten Kontakte durch einige Feilstriche wieder in Ordnung zu bringen. Die neueren Unterbrecher sind zu diesem Zweck mit auswechselbaren Kontakten versehen.

Eine mehr interessante als praktisch brauchbare Form des Platin-Hammer-Unterbrechers ist die in Fig. 91 abgebildete Konstruktion des Mac Farlan Mooreschen Vakuum-Vibrators. Der Hammer und Platinkontakt ist in einer evakuierten Glasröhre untergebracht, während sich der Elektromagnet außerhalb der Röhre befindet. Durch die Evakuierung soll die Bildung von Unterbrechungsfunken vermieden und damit ein Verbrennen der Kontakte ganz verhindert werden. Die Unterbrechungen erfolgen tatsächlich so plötzlich, daß man gar keiner Sekundärspule bedarf, vielmehr den hochgespannten Extrastrom selbst zur Speisung von Geißlerröhren benutzen kann.

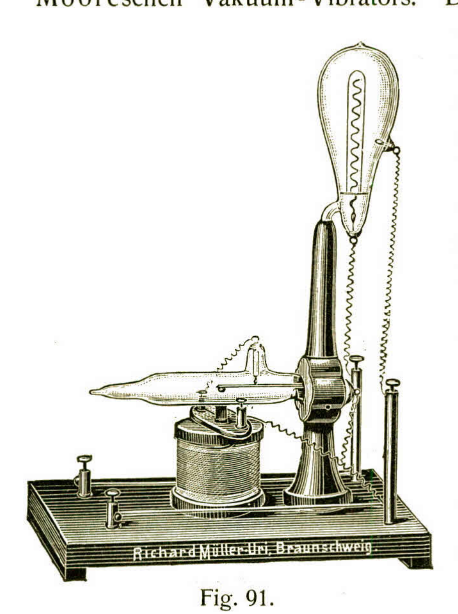


Fig. 91.

Die einfache Handhabung und der niedrige Preis haben den Platin-Unterbrechern eine große Verbreitung verschafft. Sie sind zweckmäßig beim Betriebe kleinerer Induktoren und bei Benutzung von Batterieen oder Akkumulatoren. Für Röntgenzwecke kommt besonders der Deprez- und der Vril-Unterbrecher in Betracht; letzterer hat namentlich in England viel Anwendung gefunden.

b) Quecksilber-Unterbrecher.

Da die Platin-Unterbrecher für hohe Stromstärken und Spannungen nicht gut anwendbar sind, insofern als die starken Unterbrechungsfunken die Kontakte zerstören und eine exakte Unterbrechung des primären Stromes wegen des sich bildenden Lichtbogens nicht stattfinden kann, hat man versucht, die Unterbrechung in Abwesenheit von Luft innerhalb eines isolierenden Mediums stattfinden zu lassen.

Bei einem Teil dieser Konstruktionen wird der eine Kontakt aus ruhendem Quecksilber gebildet, während der andere Kontakt aus einem bewegten Metallstift besteht. Je nach der Art und Weise, wie der Metallstift bewegt wird, unterscheidet man:

1. einfache Quecksilber-Unterbrecher;
2. Quecksilberwippen und
3. Motor-Quecksilber-Unterbrecher.

Ein anderer Teil dieser Konstruktionen benutzt das Quecksilber nur als stromschließendes Mittel zwischen einem feststehenden und einem rotierenden Metallkontakt:

4. Unterbrecher mit Gleitkontakten.

Schließlich gehören hierher:

5. Die Quecksilberstrahl-Unterbrecher, bei denen ein Quecksilberstrahl die Leitung und Unterbrechung des Stromes bewirkt.

1. Die einfachen Quecksilber-Unterbrecher werden von dem Eisenkern des Induktors selbst betätigt. Fig. 92 zeigt eine derartige An-

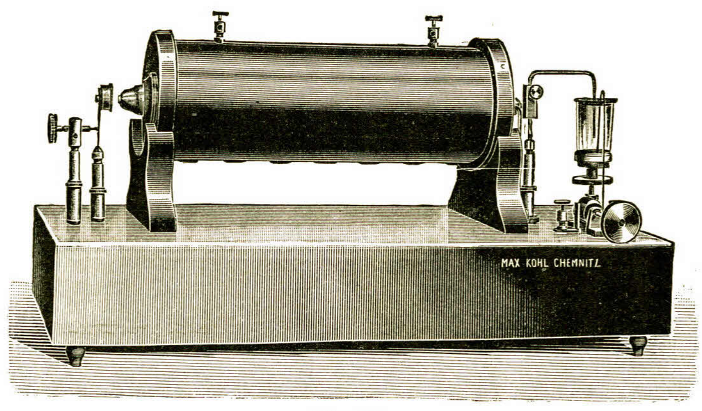


Fig. 92.

ordnung, wie sie von Max Kohl in Chemnitz hergestellt und in den Handel gebracht wird. Das in dem rechten Glasgefäß befindliche Quecksilber ist mit einer Schicht Petroleum oder Alkohol bedeckt, um die Funkenbildung zu verhindern, die Unterbrechung möglichst plötzlich und vollkommen zu machen. Beim Anziehen des Ankers hebt sich der Metalldraht aus dem Quecksilber heraus. Dieser Augenblick kann durch Höher- oder Tieferstellen des Gefäßes mit dem Quecksilber passend zur Stromschlußdauer gewählt werden. Auf der andern Seite des Induktors ist außerdem ein Platin-Unterbrecher angebracht.

Ein anderer interessanter Unterbrecher dieser Art ist derjenige von Villard, welcher von Chabaud in Paris angefertigt wird. Bei diesem wird die vibrierende Bewegung des ins Quecksilber eintauchenden Metallstiftes durch elektrodynamische Wirkung zwischen dem Strom und einem Stahlmagneten unterhalten. Bei dem kleinen Modell des Villardschen Unter-

brechers (Fig. 93), das für etwa 20 Unterbrechungen in der Sekunde berechnet ist, ist ein Arm *C'* an einer beiderseits festgeklemmten Blattfeder *C* befestigt. Der Arm führt durch einen schmalen Spalt eines ringförmigen Magneten *D* und setzt sich in einem Nickeldraht fort, der in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß *E* eintaucht. Fließt nun der Strom in passender Richtung, so ist er infolge seiner auf den Magneten ausgeübten Wirkung bestrebt, den Arm emporzuheben, wodurch der Nickeldraht aus dem Quecksilber gezogen und der Strom unterbrochen wird. Die Elastizität der Blattfeder bewirkt dann die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes. Die Größe der Vibrationsausschläge kann man durch Drehen einer Schraube *t* und damit die Stromschlußdauer regulieren. Die Geschwindigkeit der Oscillationen

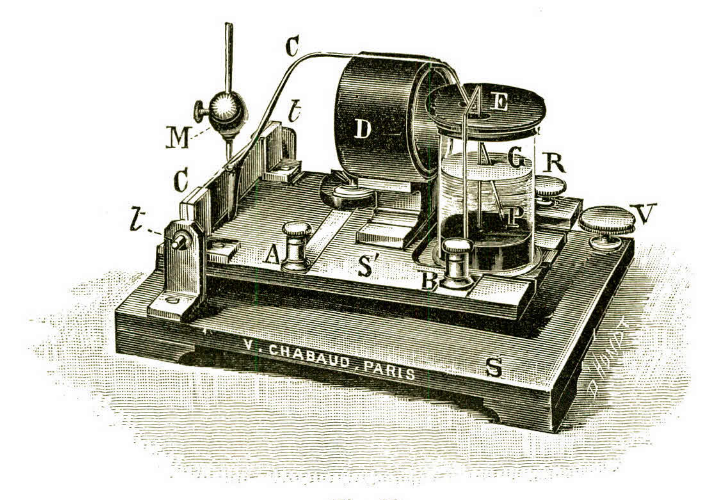


Fig. 93.

läßt sich durch ein am schwingenden Arm verschiebbares Gewicht *M* verändern. Auf Grund dieser Anordnung läßt sich die Unterbrechung einer bestimmten Stromstärke entsprechend ziemlich genau regulieren, und es bedarf keiner anderweitigen Stromquelle zur Unterhaltung der Vibrationen.

Das große Modell (Fig. 94) des Villardschen Unterbrechers beruht auf dem gleichen Prinzip, ist aber für schnellere Unterbrechungen bestimmt. Die Blattfeder ist hier durch eine Stimmgabel ersetzt. Durch Drehung eines Griffes um 180⁰ wird gleichzeitig der Stromkreis geschlossen und die Stimmgabel in Tätigkeit gesetzt.

Die Bewegung des Kontaktstiftes erfolgte bei den bisher beschriebenen einfachen Quecksilber-Unterbrechern auf elektromagnetischem bezw. elektrodynamischem Wege. Dieselbe kann natürlich auch auf andere Weise bewirkt werden. Ein Beispiel hierfür bietet der Grimsehlsche Quecksilber-

Unterbrecher, bei welchem die Bewegung durch Anblasen einer Zungenpfeife mittels strömenden Wassers erfolgt. Der Unterbrecher besteht aus einem kreuzförmigen Glasrohr (Fig. 95), dessen oberer Schenkel *O* durch einen Hahn verschlossen ist. Der untere kurze Schenkel hat an seinem unteren Ende einen Schlauchansatz *B*, der ebenfalls durch einen Hahn geschlossen werden kann. Außerdem ist an diesem Schenkel ein seitlicher Ansatz *D* angebracht, durch welchen ein Stromzuleitungsdraht in das in diesem Schenkel befindliche Quecksilber führt. In dem horizontalen Schenkel des Glasrohres ist mittels Stopfens eine Zungenpfeife *G* eingeführt, deren verlängerte Zunge *H* einen Platinstift *J* trägt, der in das Quecksilber im unteren Schenkel etwas eintaucht. Wird nun durch einen aufgesteckten

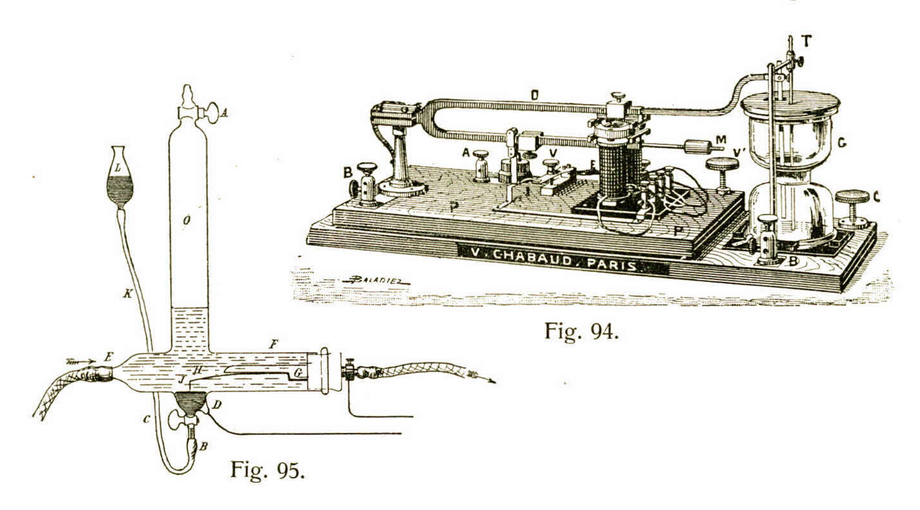


Fig. 94.

Fig. 95.

Gummischlauch der eine Schenkel *E* mit der Wasserleitung verbunden, so fließt bei schwacher Zuleitung das Wasser ohne weiteres durch die Pfeife ab, bei stärkerer Zuleitung aber wird mehr Wasser zugeführt als abfließen kann, es steigt das Wasser in den oberen Schenkel der Glasröhre und komprimiert die darin befindliche Luft. Alsbald fängt die Zungenpfeife an zu tönen. Man kann auf diese Weise die Unterbrechungszahl leicht auf 100 Schwingungen pro Sekunde bringen.

Durch das beständig zu- und abfließende Wasser wird die Kontaktstelle immer kühl gehalten, so daß eine merkliche Abnutzung nicht vorhanden ist; außerdem werden die bei der Unterbrechung losgerissenen und teilweise oxydierten Quecksilberteilchen immer gleich fortgespült, so daß die Quecksilberoberfläche stets metallisch rein bleibt. Das Niveau des Quecksilbers kann während des Betriebes durch Heben und Senken der Quecksilberflasche *L* reguliert werden.

Die einfachen Quecksilber-Unterbrecher haben mit den im folgenden beschriebenen Unterbrechern den Vorteil gemein, daß die Stromschlußdauer gegen die Unterbrechungsdauer verhältnismäßig groß ist, so daß die Stromstärke bis zu ihrem vollen Wert ansteigen kann, ehe die Unterbrechung eintritt; doch besitzen sie den Nachteil geringer Frequenz: ca. 15 bis 30 Unterbrechungen in der Sekunde. Um die Unterbrechungszahl zu erhöhen, sind zahlreiche Konstruktionen erfunden worden, deren hauptsächlichste wir im folgenden kennen lernen werden. Derartige Unterbrecher, die meist für größere Induktoren bestimmt und zum Teil recht kompliziert sind, hat man zusammen mit den erforderlichen Anschlußklemmen, dem Stromwender, einer Sicherung und dem Ausschalter als einen besonderen Apparat ausgebildet. Bei den

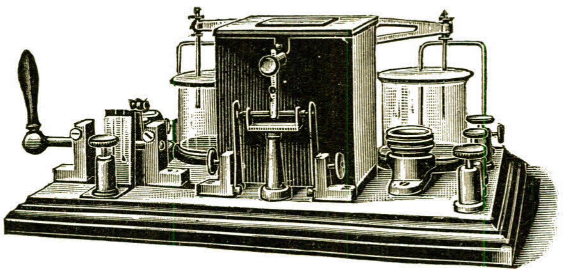


Fig. 96.

2. Quecksilberwippen hat man durch Anordnung zweier Quecksilbergefäße die Unterbrechungszahl verdoppelt. Fig. 96 und 97 zeigt eine solche Quecksilberdoppelwippe von Dr. Max Levy in Berlin. Der Elektromagnet befindet sich in einem Holzkasten und tauchen die an einem zweiarmigen Hebel befestigten Kontaktsifte abwechselnd in die beiden Quecksilbergefäße. Die Unterbrechungszahl und das gleichmäßige Eintauchen der Stifte kann durch die in Fig. 96 sichtbaren Kontaktfedern reguliert werden. Der Unterbrecher wird mit dem Induktor hintereinander geschaltet, bedarf also keiner besonderen Stromquelle.

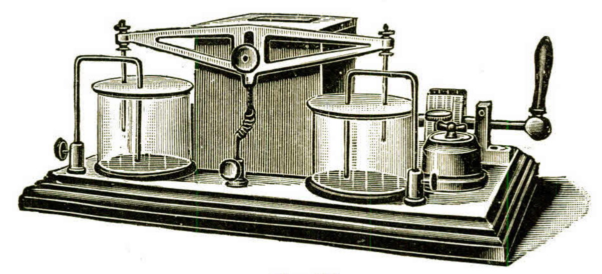


Fig. 97.

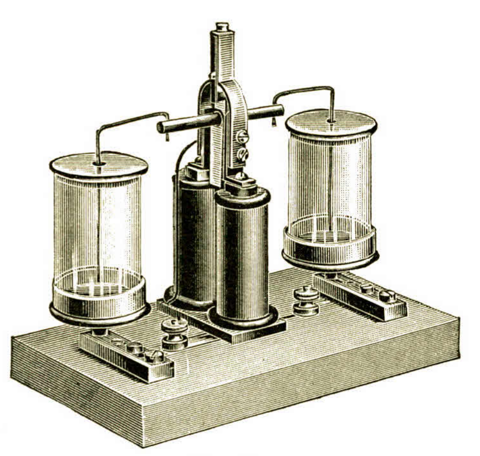


Fig. 98.

Die Quecksilberwippe von Siemens & Halske in Berlin ist der vorigen ähnlich konstruiert (vergl. Fig. 98). Bei dieser vibriert ein kleiner Eisenanker zwischen den Polen eines Elektromagneten, normal zu den Kraftlinien desselben. Der Anker stößt in seinen äußersten Stellungen gegen Platinkontakte, wodurch der Stromschluß für den Elektromagneten herbeigeführt wird. Dieser Unterbrecher bedarf zur Ingangsetzung eines Anstoßes und wird von einer besonderen Stromquelle (4 Trockenelemente!) gespeist.

Die Unterbrechungen des Induktorstromes erfolgen in den neben dem Elektromagneten angeordneten Quecksilber enthaltenden Gefäßen, in welches die mit dem schwingenden Anker verbundenen Kontaktstifte abwechselnd eintauchen.

Für größere Induktoren bürgern sich immer mehr die

3. Motor-Quecksilber-Unterbrecher ein, denen wir uns nunmehr zuwenden. Bei diesen wird ein vertikaler, geradegeführter Kontaktstift durch einen kleinen Elektromotor, der von einer besonderen Stromquelle oder vom Leitungsnetz gespeist wird, abwechselnd ins Quecksilber getaucht und aus demselben herausgezogen. Es ist wichtig, daß der Kontaktstift genau vertikal bewegt wird, weil sonst die Quecksilberoberfläche leicht unruhig wird, wodurch die Unterbrechungen unscharf werden würden.

In Fig. 99 ist der Motor-Quecksilber-Unterbrecher von Dr. Max Levy in Berlin abgebildet. Ein kleiner Elektromotor trägt auf seiner Achse eine kleine, mit einem exzentrischen Stift versehene Metallscheibe. Der Stift bewegt sich in einer Kulisse, wodurch dem damit verbundenen Kontaktstift eine vertikale, auf- und niedergehende Bewegung erteilt wird. Die Stromzuführung zum beweglichen Kontaktstift erfolgt durch eine spiralig gewundene Kupferlitze, während dem Quecksilber der Strom durch einen gebogenen Kupferdraht von oben her zugeführt wird. Die über dem Motor angebrachte Glühlampe dient als Vorschaltwiderstand. Beim Antrieb dieses Unterbrechers durch eine besondere kleine Batterie wird an die Stelle der Lampe eine Bleisicherung gesetzt. Die Einstellung des Kontaktstiftes wird durch die am Glase angebrachten Marken, die den Stand des Quecksilbers und der darüber stehenden Flüssigkeit angeben, sehr erleichtert.

Da die bewegliche, stromführende Kupferlitze bei der schnellen Bewegung stark umherfliegt und leicht bricht, ist bei einer anderen Ausführungsform derselben Firma die Stromzuführung zum Kontaktstift durch ein kleines Standglas bewirkt, in welches Quecksilber so hoch eingefüllt

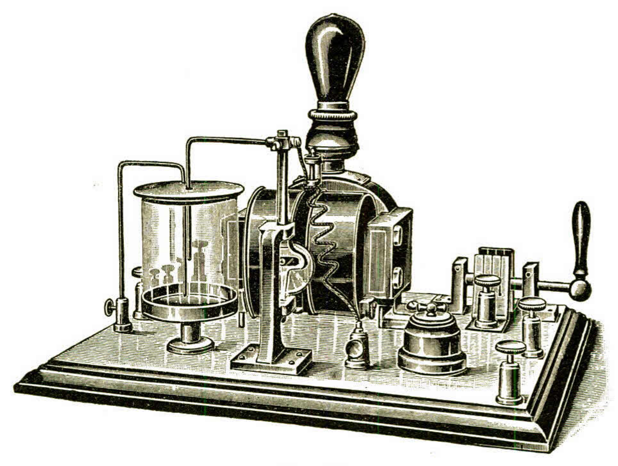


Fig. 99.

wird, daß der dort eintauchende, mit dem Kontaktstift leitend verbundene Stromleitungsbügel bei seiner Aufwärtsbewegung nicht aus dem Quecksilber herauskommt.

Andere recht brauchbare Motor-Quecksilber-Unterbrecher sind die von W. A. Hirschmann in Berlin und der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellten; ersterer ist in Fig. 100 abgebildet.

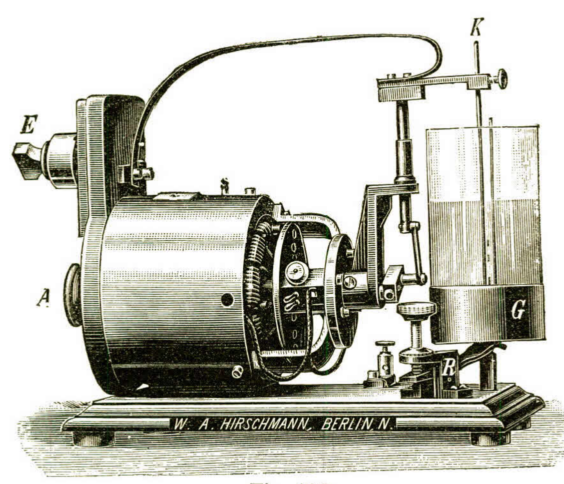


Fig. 100.

Der Motor-Quecksilber-Unterbrecher mit Tauchkontakt von Max Kohl in Chemnitz besteht aus einem kleinen Elektromotor, der mittels einer Exzenterscheibe einen Platinstift schnell in ein teilweise mit Quecksilber gefülltes, eigentümlich geformtes Glasgefäß eintaucht resp.

herauszieht (vergl. Fig. 101). Auf der Grundplatte von Schiefer sind außer dem Motor und dem Quecksilbergefäß zwei Anschlußklemmen, ein Ausschalter für den Motor, zwei Anschlußklemmen für den Induktor und ein Stromwender angebracht. Zwei Klemmen dienen zur Verbindung mit den entsprechenden Klemmen der Primärspule, zwei fernere zur Verbindung mit dem Kondensator. Die Konstruktion des Unterbrechers ist mit Rücksicht darauf durchgeführt, daß möglichst wenige der Abnutzung unterworfene Teile vorhanden sind. Der Elektromotor hat vollständig geschlossene Bauart und Kohlenbürsten, er läuft fast geräuschlos. Die stählerne Achse läuft in stählernen Lagerbuxen.

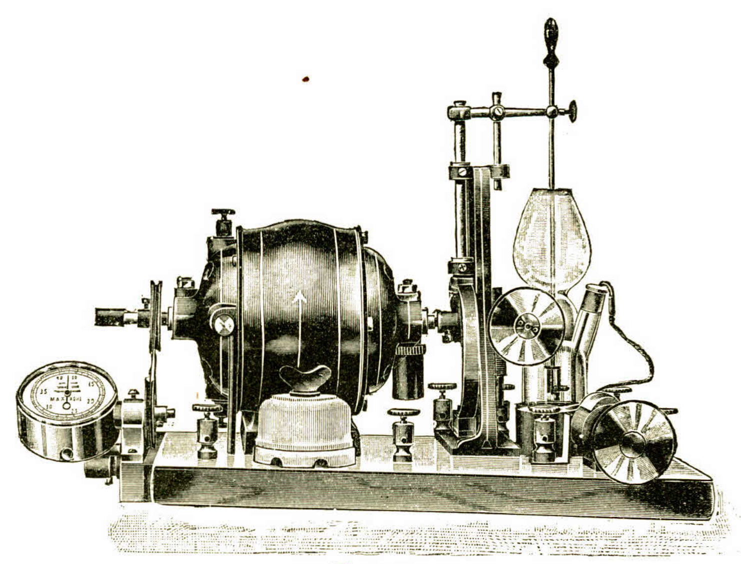


Fig. 101.

Alle bewegten Teile sind aus Stahl und zum Teil gehärtet. Das Quecksilbergefäß läßt sich während des Betriebes hoch und tief stellen. Die Anzahl der Umdrehungen bezw. Unterbrechungen ist an dem Tachometer abzulesen. Der Kontaktstift ist mit drei Spitzen versehen, um die Funkenbildung auf ein Minimum herabzusetzen. In das Quecksilbergefäß werden etwa 2 cm hoch Quecksilber, und darüber bis zur Mitte der Kugel Petroleum gegossen. Der Platinstift kann ausgewechselt werden. Um eine schädliche Amalgambildung zu vermeiden, soll der Kontaktstift während der Nichtbenutzung aus dem Quecksilber herausgezogen werden.

Recht zierlich ist der Motor-Quecksilber-Unterbrecher der Voltohm-Gesellschaft in Frankfurt a. M. (Fig. 102), welcher leicht als Ersatz eines Platin-Unterbrechers genommen werden kann. Die Klemmen K_1, K_2 dienen

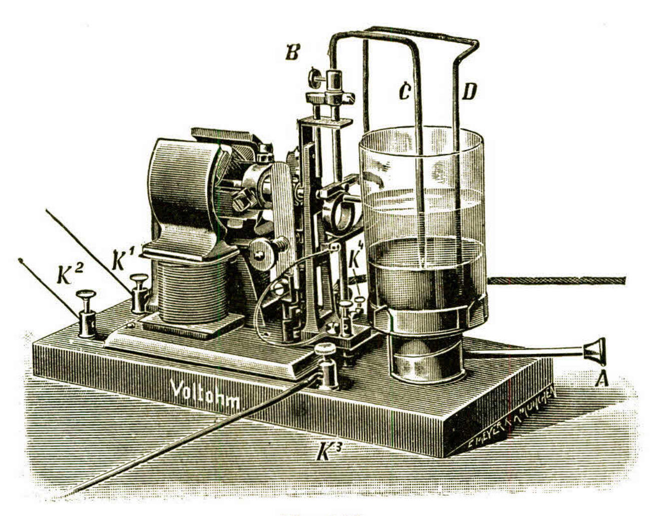


Fig. 102.

zum Anschluß des Motors an die Stromquelle, während die Klemmen K_3, K_4 mit den Säulen des abgenommenen Platin-Unterbrechers verbunden werden.

Die bei den bisher beschriebenen Motor-Quecksilber-Unterbrechern zu erzielende Unterbrechungszahl von 25 bis 30 pro Sekunde läßt sich durch Anwendung eines Doppelkontaktes leicht verdoppeln. Eine derartige Konstruktion (Fig. 103) wird von Ferdinand Ernecke in Berlin ausgeführt. Ein präzis gearbeiteter, gleichmäßig laufender Elektromotor trägt an beiden Enden seiner Achse um 180° gegeneinander versetzte Kurbeln, welche je einen Kupferstift auf- und abbewegen und zum abwechselnden Eintauchen in die Quecksilbergefäße bringen. Dadurch wird also bei jeder Umdrehung des Motors der Strom zweimal geschlossen bezw. unterbrochen. Wünscht man die höhere Frequenz nicht, so kann man den Motor langsamer laufen lassen und hat alsdann mindestens den Vorteil, daß die Zeit jedes Stromschlusses eine längere wird. Zwei seitlich angebrachte Klemmen vermitteln die Stromzuführung zum Motor, während auf dem Grundbrett die Anschlußvorrichtung, bestehend aus sechs Klemmen und einem Sromwender, montiert ist. Die vorderen Klemmen werden mit der primären Spule des zu betreibenden Induktors, die mittleren Klemmen mit dem Kondensator desselben und die hinteren Klemmen mit der den Induktor speisenden Stromquelle (Batterie) verbunden. Zwecks Füllung der Quecksilbergefäße bringt man die unteren Spitzen der Kontaktstifte auf gleiche Höhe, was durch Einstellen der Motorkurbeln in die Horizontale geschieht. Dann wird in beide Gefäße so viel Quecksilber gegossen, daß dessen Oberfläche bis zur Mitte der unteren Einschnürung steht. Nunmehr

werden die Quecksilbergefäße so in der Höhe verstellt, daß die Spitzen der Kontaktstifte 3 bis 4 mm über dem Quecksilberniveau stehen. Hierauf wird auf das Quecksilber so viel Petroleum gegossen, daß es bis zur Marke am Mittelgefäß steht.

Das Entleeren der Quecksilbergefäße erfolgt in der Weise, daß man zuerst die über dem betreffenden Gefäß befindliche Kurbel in ihre höchste

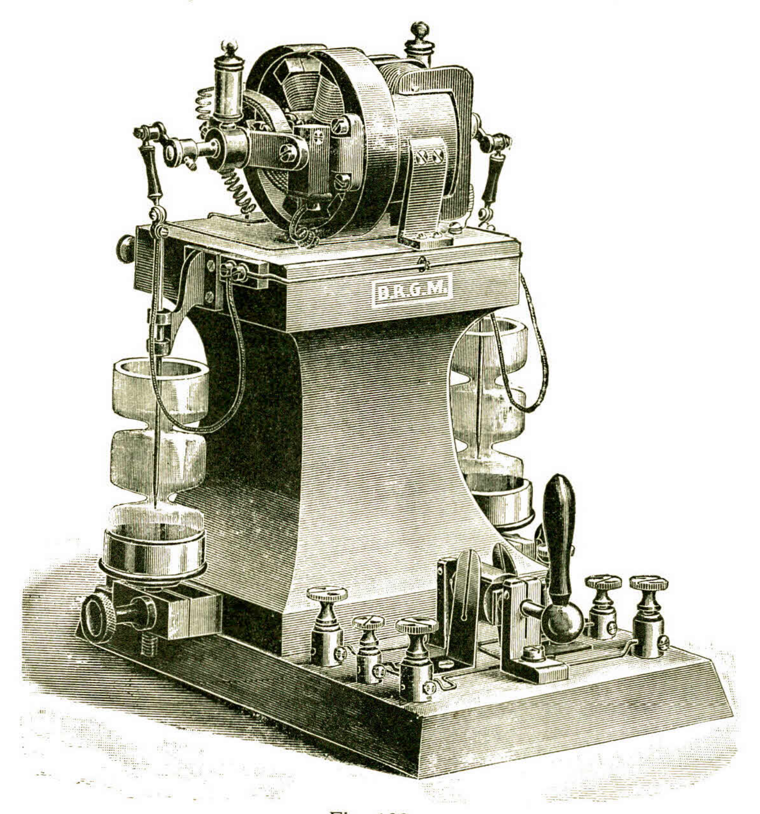


Fig. 103.

Lage dreht, dann die untere große Kordelschraube vollständig herausschraubt, die Messingplatte abnimmt und, während man das Glasgefäß etwas gegen den Holzblock neigt und den Gewindestift aus der Fassung der halben Schraubenmutter herausnimmt, das Quecksilbergefäß schräg nach unten fortzieht. Das Einsetzen erfolgt in genau umgekehrter Weise. Nach Inbetriebsetzung des Apparates müssen die Gefäße passend eingestellt werden. Stehen die Gefäße zu hoch, so kann es vorkommen, daß man gar keine Unterbrechungen erhält, weil, ehe noch der eine Stift das Quecksilber verlassen hat, der andere Kontaktstift bereits eintaucht. Jede Änderung der

Umlaufsgeschwindigkeit des Motors hat eine Änderung in der Höhenstellung der Quecksilbergefäße zur notwendigen Folge. Im allgemeinen müssen die Gefäße um so höher stehen, je schneller der Motor läuft.

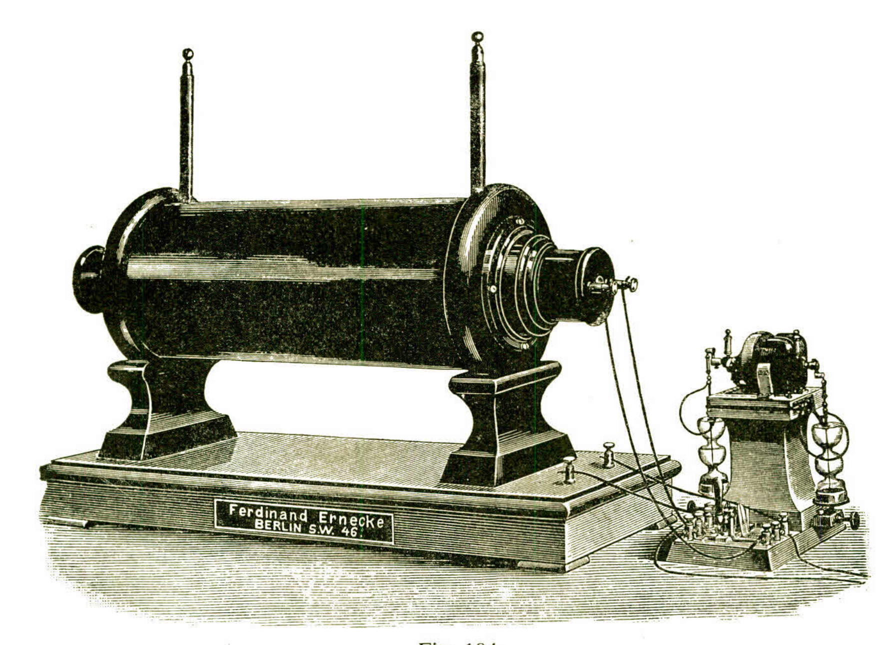


Fig. 104.

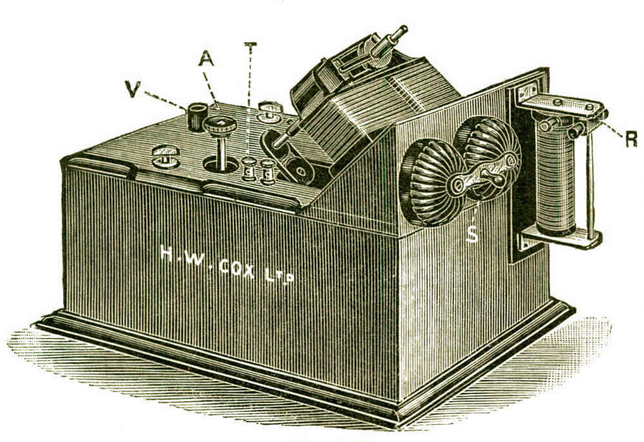


Fig. 105.

Fig. 104 stellt den Erneckeschen Doppel-Quecksilberunterbrecher in Verbindung mit einem von derselben Firma gefertigten Induktor von 50 cm Schlagweite dar.

Eine besondere Stellung nimmt der Motor-Quecksilberunterbrecher von Mackenzie Davidson, der von Cox in London in den Handel gebracht wird, ein (Fig. 105). Bei diesem ist die Achse des schräg gestellten Motors verlängert und treibt eine normal zur Achse befestigte Scheibe mit Kontaktstücken an, derart, daß dieselben nacheinander in das am Boden befindliche, mit Paraffinöl bedeckte

Quecksilber eintauchen. Der Unterbrecher ist mit einem kleinen Regulierwiderstande *R* für den Motor und mit zwei gekuppelten Ausschaltern *S* für den Motor- und Induktorstromkreis ausgestattet.

Eine besondere Gruppe der Motor-Quecksilber-Unterbrecher bilden die rotierenden

4. Unterbrecher mit Gleitkontakten. Bei diesen wird Quecksilber nicht als stromschließendes Mittel, sondern nur zum Amalgamieren zweier zum Stromschluß dienenden Kupferflächen benutzt, von denen die eine um eine vertikale Achse rotiert. Diese amalgamierten Kupferflächen, die stets mit neuen Quecksilbermengen in Berührung kommen, sichern einen durchaus regelmäßigen Stromschluß und ebensolche Unterbrechungen.

Fig. 106 stellt einen Unterbrecher dieser Art von W. A. Hirschmann in

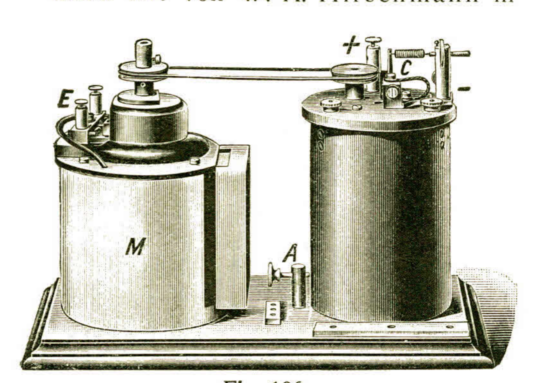


Fig. 106.

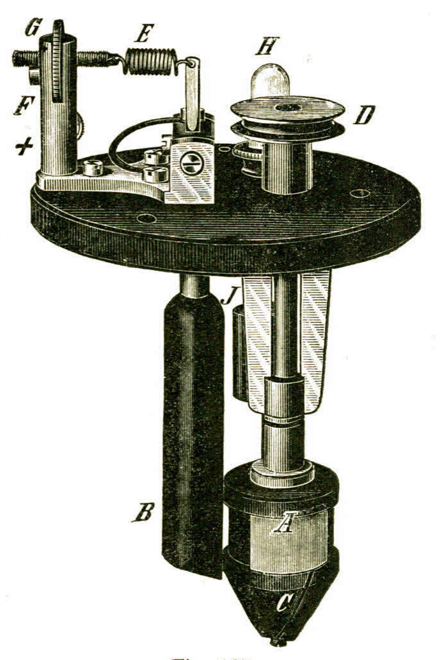


Fig. 107.

Berlin in Totalansicht dar, während Fig. 107 die Hauptteile in vergrößertem Maßstabe erkennen läßt. Das Unterbrechergefäß enthält am Boden Quecksilber, über welchem sich eine Schicht Alkohol befindet. Wird die Achse *D* mittels des Schnurrades vom Elektromotor *M* in Rotation versetzt, so kommt bei jeder Umdrehung der feststehende Kontaktkörper *B* mit den rotierenden Kontaktflächen *A* während einer Viertelumdrehung in Berührung, während der zwischen den rotierenden Kupferflächen liegende Ausschnitt den Strom unterbricht. Je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit des Motors lassen sich bis 60 Unterbrechungen in der Sekunde erzielen. Durch Verwendung eines solchen rotierenden Unterbrechers ist es möglich, die höchsten zulässigen Stromstärken zu verwenden und dabei doch absolut gleichmäßige, von keinen Zufälligkeiten im Quecksilberkontakt

abhängige Unterbrechungen zu erzielen. Die Rotationsachse ist im Gefäß exzentrisch angeordnet, um so die Mitrotation der Flüssigkeiten und die mit ihr zusammenhängende Trichterbildung, welche zu Explosionen führen würde, zu vermeiden. Den Stand der Alkoholmenge zeigt ein Schwimmer an, dessen Zeiger und Marke sich in dem Glascylinder *H* befindet; bei zu niedrigem Stande muß Alkohol nachgefüllt werden.

Auf einem ähnlichen Prinzip basiert der Kontakt-Trommel-Unterbrecher mit Bürstenkontakt von Max Kohl in Chemnitz. Wie aus Fig. 108

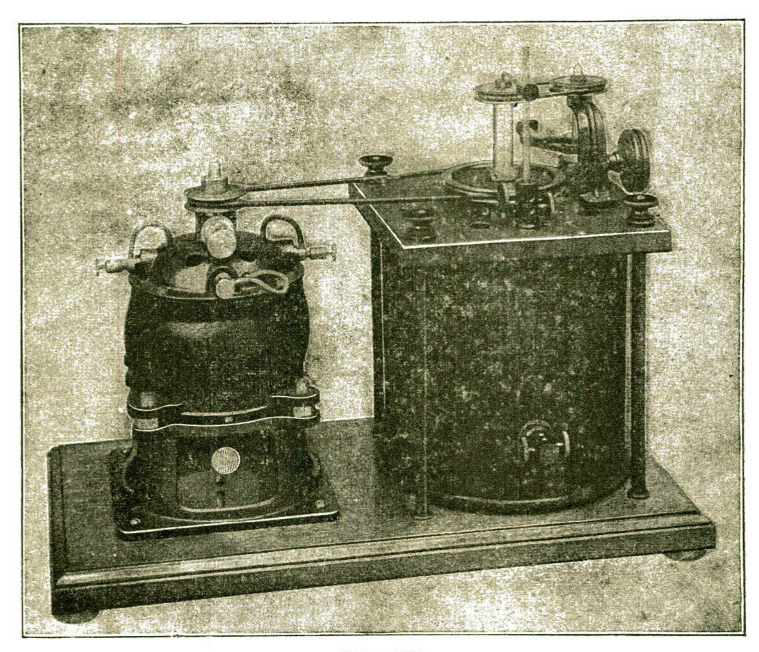


Fig. 108.

ersichtlich ist, besteht derselbe aus dem eigentlichen Unterbrecher und einem zum Antrieb dienenden Gleichstrommotor mit senkrecht stehender Achse, die beide auf einer gemeinschaftlichen Grundplatte montiert sind. Der Motor hat ein vollständig geschlossenes Gehäuse, ist mit Kohlebürsten ausgerüstet und sein Gang völlig geräuschlos; er wird für verschiedene Spannungen geliefert und beträgt der Energieverbrauch nur 60 Watt. Durch einen Stromregulator, den man zwischen die Stromquelle und den Elektromotor einschaltet, läßt sich die Umdrehungszahl des Unterbrechers in weiten Grenzen variieren.

Der Unterbrecher selbst besteht aus einem cylindrischen, gußeisernen Gefäß, das durch eine Schieferplatte abgedeckt wird. Diese wird an ihren

vier Ecken durch Schrauben festgehalten. In der Mitte wird sie durch die senkrechte Hauptwelle durchsetzt, die in einem Kugellager läuft. An ihrem oberen Ende trägt diese Welle zwei Schnurscheiben, von denen die eine zur Bewegungsübertragung vom Motor aus, die andere zu der weiter unten beschriebenen Quecksilber-Hebevorrichtung dient. An ihrem unteren Ende trägt die Welle eine Trommel von Stabilit, in die zwe nach unten zungenförmig zugespitzte, aus amalgamiertem Kupfer bestehende Kontaktstücke so befestigt sind, daß sie mit der Welle in leitender Verbindung stehen. Auf der Trommel schleift eine Kupferbürste, die an einem Hohlcylinder befestigt ist. Diese durchsetzt den Schieferdeckel des Unterbrechers und eine darauf befestigte Hülse seitlich von der Hauptwelle, und läßt sich mittels Triebes hoch und tief stellen, um nach Bedarf die Dauer des Kontaktes verändern zu können. Um einen möglichst guten Kontakt zu erzielen, wird die Bürste durch eine oben auf dem Unterbrecher angebrachte, regulierbare Feder an die Trommel angedrückt, außerdem fortwährend Quecksilber an die Kontaktstelle gepumpt. Zu diesem Zweck ist die Bürste in ihrer ganzen Länge so durchbohrt, daß eine Verbindung mit dem Innern des Cylinders hergestellt ist, an dem sie befestigt ist. In dem Cylinder aber befindet sich eine genau hineinpassende Schnecke, die an ihrer Spindel eine Schnurscheibe trägt und von der Hauptwelle aus angetrieben wird. Da das untere Ende des Cylinders in den tiefsten Teil des mit einem schrägen Boden versehenen Unterbrechergefäßes hineinragt und sich dort Quecksilber befindet, so wird letzteres durch die Schnecke in die Höhe gepumpt und gelangt durch die Durchbohrungen der Bürste zu der Kontaktstelle. Die eine Stromzuleitungsklemme ist direkt an dem gußeisernen Gehäuse angebracht und gelangt der Strom vom Gehäuse zum Quecksilber und die Kupferbürste zum Kontaktstück und zur Hauptwelle. Letztere ist an ihrem oberen Ende tief gekörnt und diese Vertiefung mit Quecksilber angefüllt, in welches ein Kupferdrahtbügel hineinragt, der zur zweiten, auf der Schieferplatte angebrachten Klemme führt. Zur Füllung des Unterbrechers sind 1 kg Quecksilber und $1\,^1/_2$ Liter Petroleum erforderlich. Bei zwei vorhandenen Kontaktrücken beträgt die maximale Unterbrechungszahl 45 in der Sekunde.

Zur gleichen Kategorie gehört auch der Unterbrecher mit rotierendem Gleitkontakt von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen. Bei diesem wird an Stelle von flüssigem Quecksilber ein festes Amalgam benutzt. Auch wird die Regulierung der Kontaktfedern in etwas anderer Weise, mit Hilfe eines einzustellenden Schleifkontaktes erreicht.

Die Motor-Quecksilber-Unterbrecher gestatten die Anwendung viel größerer Stromstärken als die Platinkontakt-Unterbrecher, sie sind daher für

größere Induktoren (30 bis 50 cm Funkenlänge) sehr gut verwendbar. Neben einer leichten Regulierbarkeit der Stromschlußdauer haben sie vor den einfachen Quecksilber-Unterbrechern den Vorzug der größeren Frequenz (bis zu 60 in der Sekunde) und der leichteren Variation der Unterbrechungszahl. Die Unterbrechungen finden absolut regelmäßig und selbst bei schnellster Folge stets vollkommen statt. Dagegen besitzen sie den Nachteil der meisten unabhängig vom Induktor betätigten Unterbrecher, daß stets erst der Unterbrecher in Gang gesetzt werden muß, ehe der Hauptstrom durch den Einschalter oder durch Umlegen des Stromwenders geschlossen wird. Ebenso muß umgekehrt beim Öffnen des Stromes erst der Hauptstrom unterbrochen sein, ehe der Motor ausgeschaltet wird, andernfalls kann es leicht vorkommen, daß der Kontakt im Unterbrecher geschlossen stehen bleibt und ein sehr starker Strom die Primärspule des Induktors gefährdet. Obgleich dieser Umstand bei einiger Vorsicht, oder wie beim Coxschen Unterbrecher, durch passende Konstruktion vermieden werden kann, betrachten dies doch viele als einen kleinen Nachteil und ziehen einen der in folgendem beschriebenen Quecksilberstrahl-Unterbrecher vor, zumal diese geeignet sind, bedeutend größere Energiemengen bei noch viel höherer Frequenz zu unterbrechen.

5. Die Quecksilberstrahl-Unterbrecher stellen die vollkommensten aller mechanischen Unterbrecher dar. Den Grundtypus bildet der von Boas konstruierte sogenannte Turbinen-Unterbrecher der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Bei demselben (Fig. 109 und 110) wird mittels einer an vertikaler Achse befestigten kleinen Turbine Quecksilber vom Boden eines gußeisernen Behälters angesaugt und in Form eines feinen Strahles aus einer Düse zentrifugal herausgeschleudert. Dieser Quecksilberstrahl trifft auf einen mit Aussparungen versehenen Metallring. Hierdurch wird der Strom abwechselnd geschlossen und unterbrochen. Je nach der Zahl der Umdrehungen der Turbine und der Zahl der Aussparungen im konzentrischen Kontaktringe, läßt sich die Zahl der Unterbrechungen bis auf mehrere Hundert in der Sekunde steigern. Das (etwa 2000 g betragende) Quecksilber ist mit (etwa 1400 g) Alkohol so hoch bedeckt, daß sich die rotierende Düse noch unterhalb der Flüssigkeit befindet. Die beiden schraubenförmigen Flügel, die in der Abbildung (Fig. 110) zu erkennen sind, haben den Zweck, die Quecksilbermasse am Mitrotieren zu hindern, weil sonst der Turbine das anzusaugende Quecksilber entzogen würde. Eine unmittelbare Folge des bei diesem Unterbrecher angewendeten Prinzips ist die, daß das beabsichtigte oder zufällige Anhalten der Turbine ein sofortiges Öffnen des Stromkreises bewirkt. Es ist daher zulässig, daß der Speisestrom des Induktors am Ausschalter eher geschlossen wird, als wie

Fig. 109.

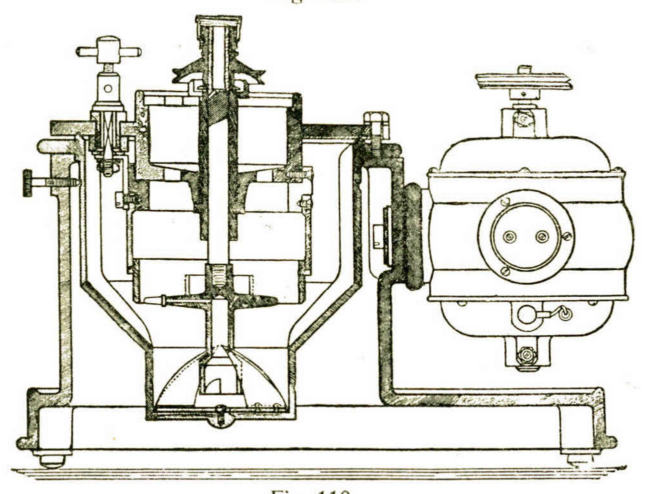


Fig. 110.

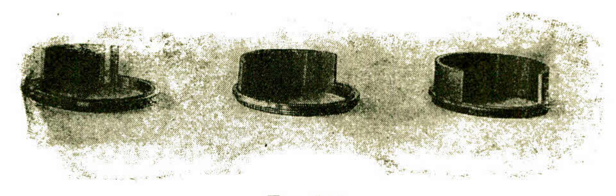


Fig. 111.

die Turbine in Rotation gesetzt wurde. Der Apparat wird in der Regel so ausgeführt, daß bei normaler Tourenzahl ungefähr 100 Unterbrechungen in der Sekunde stattfinden. Durch Auswechselung der Kontaktringe kann die Unterbrechungszahl variiert werden (vergl. Fig. 111).

Gleichsam die Umkehrung des Boasschen Turbinen-Unterbrechers ist der Levysche Quecksilberstrahl-Unterbrecher (vergl. Fig. 112 bis 114). Bei ihm wird ein stillstehender Quecksilberstrahl gegen einen rotierenden cylindrischen Metallcylinder, der mit Ausschnitten versehen ist, geschleudert. Der Strahl wird durch eine mit der Hauptwelle verbundenen Kapselräderpumpe *d* erzeugt, spritzt aus der Düse *f* gegen den Kontaktkranz *g* mit den daran befestigten, keilförmig zugeschnittenen Kontaktstücken *h*. Durch Heben oder Senken der Düse mittels des Hartgummiknopfes *i* kann die Stromschlußdauer, selbst während des Betriebes, geändert und so die Funkenlänge ohne Vertauschung der Kontaktstücke verändert werden. Bei Bedarf können übrigens Kontaktstücke herausgenommen oder breitere Kontakte eingesetzt werden. Durch Verwendung von Petroleum anstatt Alkohol oberhalb des Quecksilbers ist jede Explosionsgefahr vermieden, weil die Entflammungstemperatur des Petroleums sehr hoch liegt. Durch das Glasgefäß sind

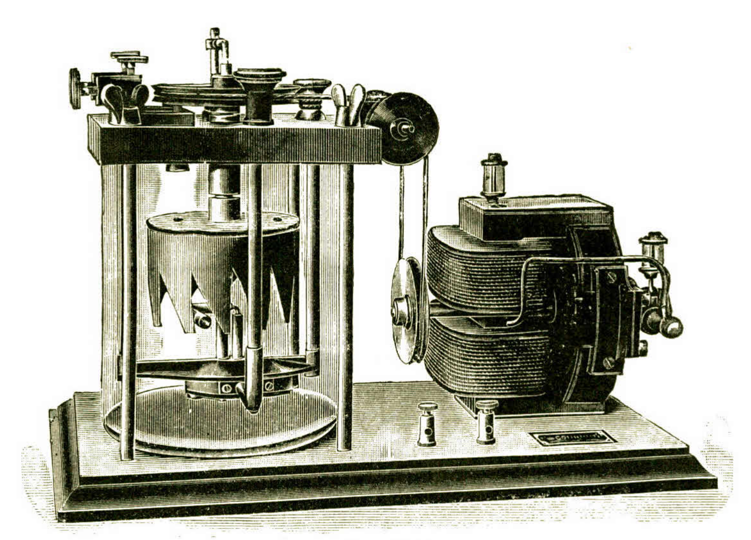


Fig. 112.

die Vorgänge im Unterbrecher und die Höhe der Füllung stets sichtbar, auch ist dadurch die Reinigung vereinfacht, weil nach Herausnahme der Unterbrecherteile, die alle an der Schiefer-Deckplatte befestigt sind, nur das Glasgefäß mit den Flüssigkeiten zurückbleibt. Die Figuren 115 und 116 geben ein Bild der mit diesem Unterbrecher erzielten Funkenentladungen eines Induktoriums.

Eine fernere Modifikation dieses Unterbrechertypus ist diejenige von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen, bei der das Quecksilber aus einer ebenfalls feststehenden Düse gegen eine feststehende Kupferplatte spritzt. Die Unterbrechungen des Stromes kommen dadurch zustande, daß eine mit Flügeln versehene Scheibe aus isolierendem Material den Quecksilber-Strahl zeitweilig hindert, auf die Kupferplatte zu treffen. Dieser Unterbrecher ist in Fig. 117 abgebildet. Die Entfernung des Kontakttellers und der Düse kann durch eine am

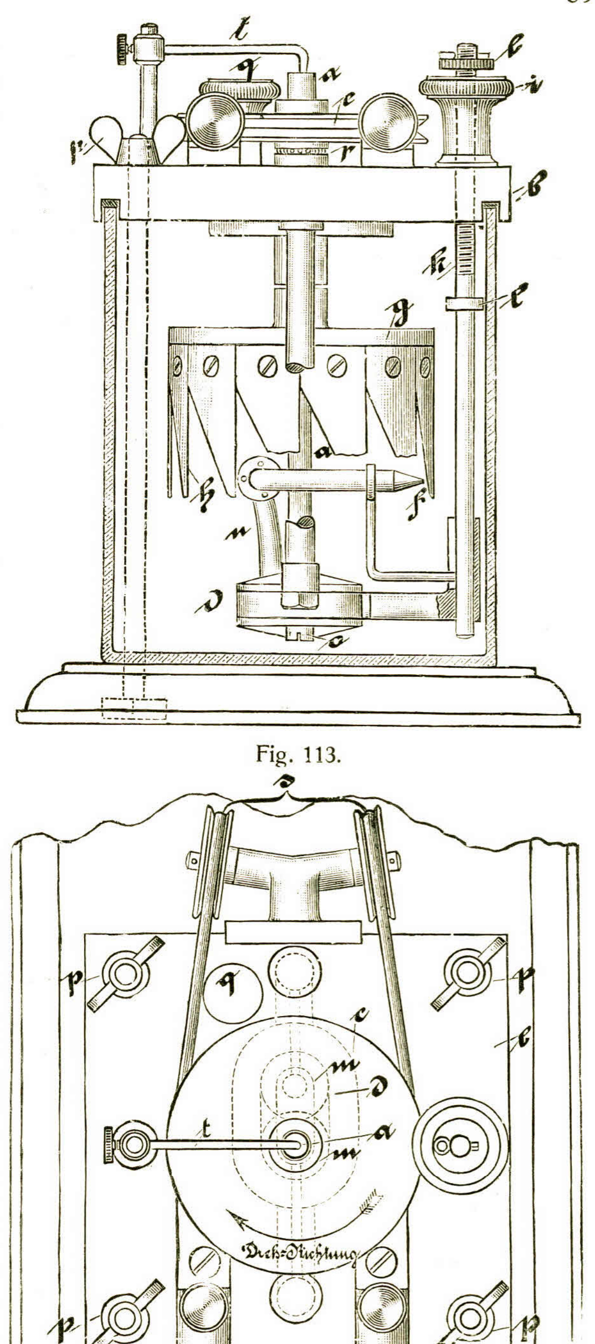


Fig. 113.

Fig. 114.

Deckel angebrachte Schraubenmutter *S* innerhalb gewisser Grenzen verändert werden, um eine Regulierung der Kontaktdauer zu bewirken. Neuer-

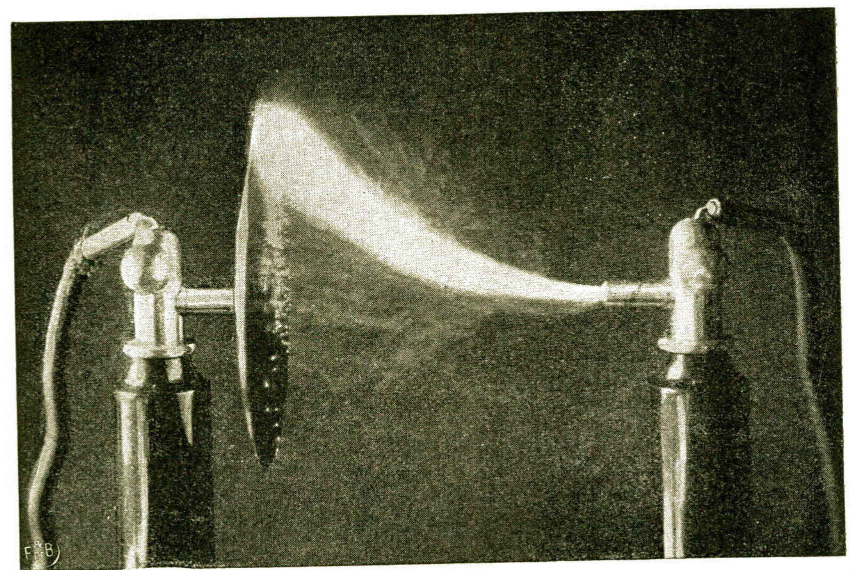


Fig. 115.

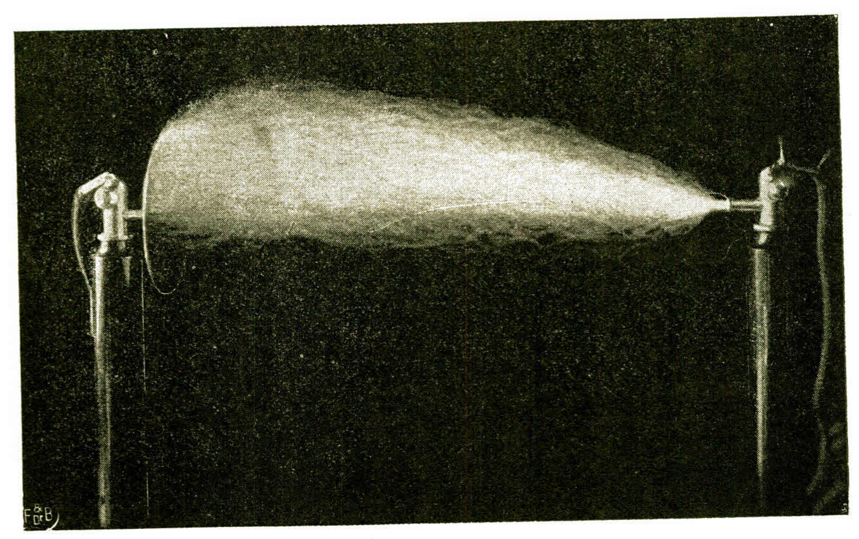


Fig. 116.

dings wird derselbe Zweck in anderer Weise mit Hilfe eines verstellbaren Schleifkontaktes erreicht.

Da die Quecksilberstrahl - Unterbrecher keine hin- und hergehenden Teile besitzen und bei der dadurch erreichbaren hohen Tourenzahl die Frequenz sich ohne Schwierigkeit bis zu mehreren hundert Unterbrechungen pro Sekunde steigern läßt, ferner Ströme beliebig hoher Spannung und Stromstärke angewendet werden können, auch die Unterbrechungen sehr regelmäßig und exakt erfolgen, so daß man die Induktionsapparate rationell ausnutzen kann, so wird man diese Unterbrecher überall da anwenden, wo auf hohen Anschaffungspreis keine besondere Rücksicht genommen werden muß. Dieselben arbeiten auch verhältnismäßig ruhig und sind aus allen diesen Gründen für Röntgenzwecke sehr geeignet.

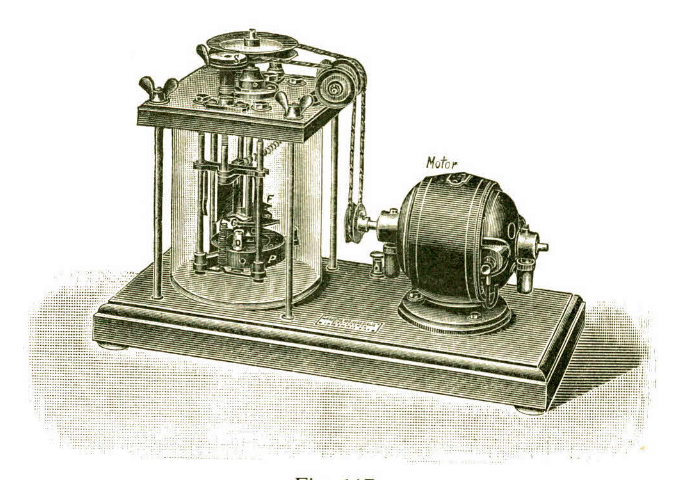


Fig. 117.

Als Nachteil dieser, wie überhaupt aller Quecksilber-Unterbrecher, muß das Verschlammen des Quecksilbers bezeichnet werden, welches um so eher eintritt, je mehr Arbeit der Unterbrecher leistet. Man muß daher diese Unterbrecher öfter auseinander nehmen und reinigen, wobei auf die Giftigkeit des Quecksilberschlammes gebührend Rücksicht zu nehmen ist. Ein Verfahren zur Wiedergewinnung des Quecksilbers aus dem Schlamme ist am Schluß dieses Abschnittes angegeben.

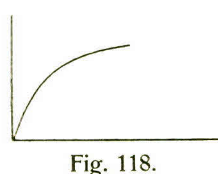
Ehe wir die mechanischen Unterbrecher verlassen, dürfte es angezeigt sein, etwas näher auf die Anwendung und Bedeutung hoher Betriebsspannungen einzugehen.

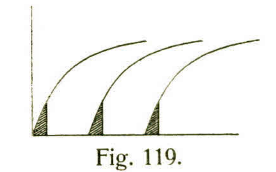
Nach den bereits früher erörterten Prinzipien hängt die in der sekundären Spule des Induktors erzeugte elektromotorische Kraft hauptsächlich von der Magnetisierung des Eisenkerns ab. Wegen der Selbstinduktion der Primärspule nimmt die Stromstärke und damit die Magnetisierung des

Eisenkerns nicht plötzlich nach erfolgtem Stromschluß, sondern erst nach Verlauf einer gewissen Zeit den höchsten Wert an. In Fig. 118 ist die zeitliche Zunahme der Stromstärke, welche nach der bekannten Gleichung:

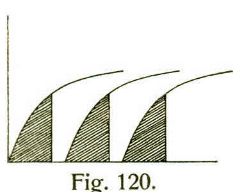
$$J = \frac{E}{W}\left(1 - e^{-\frac{Wt}{L}}\right)$$

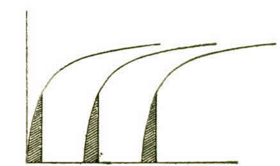
erfolgt, worin E die elektromotorische Kraft, W den Widerstand, L die Selbstinduktion des Stromkreises bezeichnet und $e = 2{,}71828\ldots$ ist, schematisch dargestellt. Man sieht daraus, daß die Stromstärke und dementsprechend auch die Magnetisierung des Eisenkerns erst nach Verlauf einer längeren Zeit einen höheren Wert annimmt.


Fig. 118.


Fig. 119.

Unterbricht man den Strom erst in diesem Moment, so wird man in der sekundären Spule bedeutend größere elektromotorische Kräfte erzielen, als wenn man den Strom bereits vorher, als der Magnetismus noch nicht so hoch gestiegen war, unterbrochen hätte. Regulieren wir z. B. den Levyschen Quecksilberstrahl-Unterbrecher in der Weise, daß die Kontaktdauer nur $^1/_{100}$ Sekunde beträgt, so nutzen wir die Magnetisierung des Eisenkerns im Induktor nur in sehr geringem Maße aus (Fig. 119). Würde uns die so erzielte induzierte elektromotorische Kraft zu gering erscheinen, so können wir entweder die Unterbrechungszahl vermindern, indem wir den Motor langsamer laufen lassen — oder aber wir heben die Düse in die Höhe. In beiden Fällen wird die Zeitdauer jedes einzelnen Stromschlusses verlängert, die Entfaltung des Magnetismus begünstigt und damit die Induktions-Wirkung erhöht (Fig. 120).


Fig. 120.


Fig. 121.

Kann man aber bei einer bestimmten Unterbrechungszahl die Stromschlußdauer nicht mehr verlängern, so muß man zu einer höheren Betriebsspannung übergehen. Der Stromanstieg erfolgt dann bedeutend schneller und der Abfall der Magnetisierung ist ein größerer (Fig. 121).

Während man nun bei den bisher beschriebenen Platin-, einfachen Quecksilber- und Motor-Quecksilber-Unterbrechern hohe Spannungen wegen der starken Funkenbildung nicht anwenden konnte bezw. durch Energie verzehrende Widerstände herabsetzen mußte, kann man mittels der Quecksilberstrahl-Unterbrecher dem Induktor Spannungen bis zu 250 Volt direkt

— ohne Vorschaltwiderstand — zuführen. Das ermöglicht natürlich, unbeschadet der völligen magnetischen Sättigung des Eisenkerns, eine sehr hohe Unterbrechungszahl, und das Resultat ist eine überraschend starke Leistung des Induktors. Außerdem aber kann man bei dieser Art Unterbrecher sehr leicht vom Starkstrombetrieb zu Batteriebetrieb (und umgekehrt) übergehen, indem man nur die Stromschlußdauer vergrößert (bezw. verringert), ohne die Unterbrechungszahl zu verändern.

c) Flüssigkeits-Unterbrecher.

Auf gänzlich anderen Prinzipien beruhen die Flüssigkeits-Unterbrecher, welche die heute bekannten, höchst erreichbaren Unterbrechungszahlen 1000 bis 2000 pro Sekunde erzielen lassen. Bei diesen Unterbrechern wird eine enge Flüssigkeitsbrücke durch den starken Stromdurchgang in Dampf verwandelt und, da Wasserdampf den Strom nicht leitet, dadurch der Strom unterbrochen. Durch Kondensation des Dampfes, durch die ihn umgebende Flüssigkeit wird die Stromleitung wieder hergestellt und das Spiel beginnt von neuem.*)

Man kann zwei Arten von Flüssigkeits-Unterbrechern unterscheiden:

1. solche, bei denen die Unterbrechungen zwar innerhalb der Flüssigkeit, aber an der einen Elektrode selbst erfolgen, und
2. solche, bei denen die Unterbrechungen innerhalb der Flüssigkeit, aber getrennt von den Elektroden, erfolgen.

1. Der Grundtypus der ersten Art ist der Wehnelt- oder Stift-Unterbrecher, häufig auch »elektrolytischer Unterbrecher« genannt, weil man zuerst irrtümlich glaubte, den hierbei beobachteten Unterbrechungsvorgang durch stattfindende Elektrolyse erklären zu können. In seiner einfachsten Form, in der er auch heute noch vielfach Anwendung findet, besteht er in der Hauptsache aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glasgefäß (Fig. 122), in welches zwei sehr verschieden große Elektroden eintauchen. Die aus einer Bleiplatte gebildete große Elektrode wird mit dem negativen Pol, die aus einem dünnen Platinstift bestehende kleine Elektrode mit dem positiven Pol verbunden. Der Platinstift kann in einer Glasröhre eingeschmolzen oder durch eine Dichtung verschiebbar angeordnet sein. Schaltet man diesen Unterbrecher in einen Stromkreis,

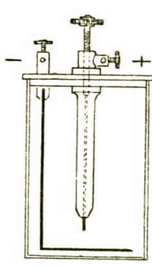


Fig. 122.

*) Vergl. A. Wehnelt, Annalen der Physik. N. F. Bd. 68, S. 233 bis 272. 1899. H. Th. Simon, ebenda S. 273 bis 293. E. Ruhmer, Elektrotechnische Zeitschrift XX, S. 456 bis 458. 1899. E. Klupathy, Annalen der Physik. 4. F. Bd. 9, S. 147 bis 163. 1902.

der eine nicht zu kleine Selbstinduktion besitzt, z. B. in den primären Stromkreis eines Induktoriums, und erhöht die Spannung auf 30 bis 60 Volt, so geht die Sauerstoffentwicklung bei plötzlicher Stromstärkeverminderung in die von einer eigentümlichen gelbrötlichen Lichterscheinung und einem stark knatternden Geräusch begleitete Unterbrechungserscheinung an der Platinspitze über. Diese Unterbrechungen sind außerordentlich exakt und vollkommen und besitzen hohe Frequenz. Letztere ist von der Selbstinduktion im Stromkreise abhängig, und zwar nimmt sie mit abnehmender Selbstinduktion zu. Bei zu geringer Selbstinduktion setzen die Unterbrechungen ganz aus und der Platindraht fängt an zu glühen.

Die Unterbrechungen sind so plötzlich und vollständig und der dadurch bewirkte Abfall der Stromstärke bezw. der Magnetisierung so rapide, daß der Kondensator des Induktoriums ganz in Fortfall kommen kann. Das bedeutet eine wesentliche

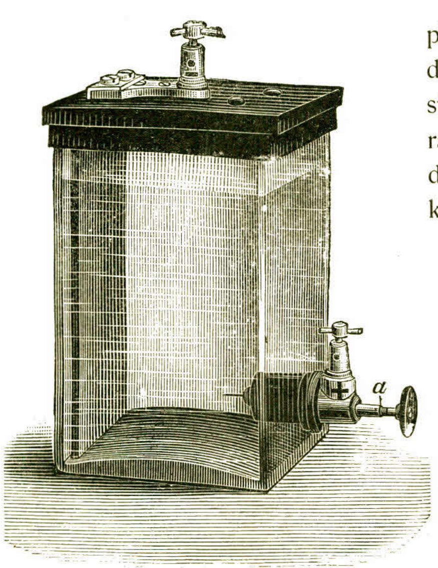


Fig. 123.

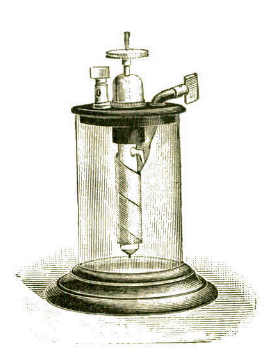


Fig. 124.

Vereinfachung und Verbilligung des Instrumentariums. Außer durch Veränderung der Betriebsspannung und durch die Veränderung der Selbstinduktion im Stromkreise, kann die Stromstärke und damit die Unterbrechungszahl auch durch Veränderung der Größe der aktiven Platinanode reguliert werden. Je größer die Stromdichte an der aktiven Elektrode, um so höher ist die Frequenz.

Um bei älteren Induktoren, die eine zu geringe Selbstinduktion der Primärwicklung besitzen, den Wehnelt-Unterbrecher anwenden zu können, schaltet man vor den Unterbrecher einen besonderen induktiven Vorschaltwiderstand.

Fig. 123 zeigt den Wehnelt-Unterbrecher in einer der ersten Formen, in welcher er von Ferdinand Ernecke in Berlin hergestellt und in den

Handel gebracht wurde. Er besteht aus einem viereckigen Glasgefäß mit Hartgummideckel, an letzterem ist die negative Elektrode, eine Bleiplatte, angebracht und mit einer Klemme verbunden. Die aktive Elektrode ist seitwärts, dicht über dem Boden des Gefäßes, eingeführt und die Länge des Platinstiftes ist verstellbar. Zur Füllung genügt eine Mischung von 1540 ccm Wasser und 150 ccm Schwefelsäure. Die Leistung dieser Konstruktion ist recht zufriedenstellend, besonders wenn auf die Dichtung des Platinstiftes eine etwas größere Sorgfalt verwendet wird. In der von der Fabrik anfänglich gefertigten Weise war diese Dichtung mangelhaft, und ging man

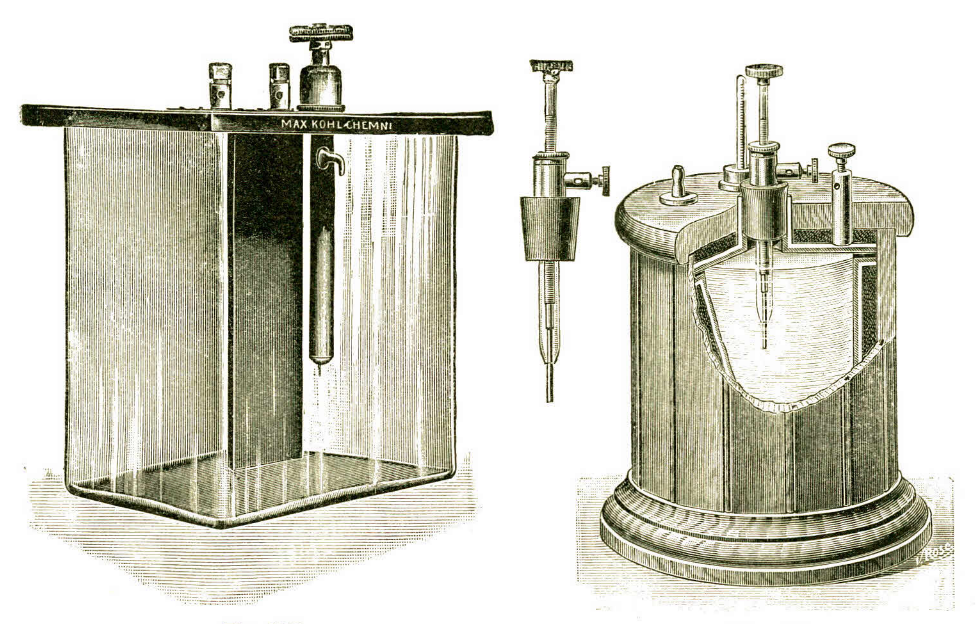


Fig. 125. Fig. 126.

deshalb später zur Einführung des Platinstiftes von oben über. Die neuere Erneckesche Konstruktion zeigt diesen Mangel indessen nicht mehr.

In Fig. 124 ist die Ausführungsform zu erkennen, welche Siemens & Halske in Berlin diesem Unterbrecher gegeben hat. Durch den Deckel ist ein Porzellanrohr geführt, das einen verbleiten Kupferstift mit daran gelötetem Platindraht enthält. Das obere Ende dieses Metallstiftes trägt ein Schraubengewinde mit Kordelmutter, mittels der man den Platinstift aus dem Porzellanrohr mehr oder weniger lang herausschieben kann. Die Kathode wird durch einen breiten Bleistreifen gebildet, der spiralig um die Porzellanröhre gewickelt ist. Die Dichtung zwischen dem Platinstift und dem Porzellanrohr ist natürlich noch unvollkommener als bei der

Erneckeschen alten, ersten Konstruktion; eine Folge davon ist, daß beim Arbeiten des Unterbrechers Flüssigkeit in das Porzellanrohr getrieben wird. Ein seitliches Ansatzrohr mit feiner Öffnung soll zum Ausgleich der Niveaudifferenz dienen.

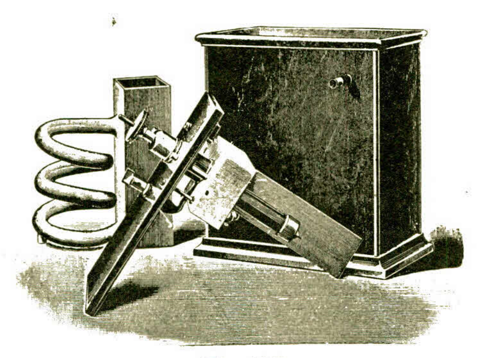


Fig. 127.

Ähnlich konstruiert ist der Wehnelt-Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz, mit sehr großem Gefäß (Fig. 125), und der von Carpentier in Paris (Fig. 126).

Kohl empfiehlt zur Füllung des Unterbrechers ein Mischungsverhältnis von 1 Schwefelsäure : 20 Wasser (vom spezifischen Gewicht 1,06).

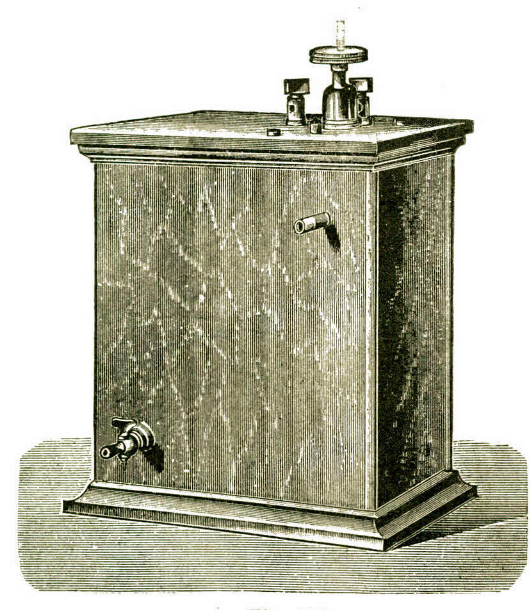


Fig. 128.

Da sich die Flüssigkeit beim Betriebe des Unterbrechers erhitzt, so würde sie beim Dauerbetrieb schließlich bis zum Siedepunkt gelangen, und da alsdann keine Kondensation der gebildeten Unterbrechungsdampfblase stattfinden könnte, müßte der Unterbrecher aussetzen. Um diese übermäßige Erwärmung des Elektrolyten zu verhindern, haben Siemens & Halske in Berlin einen Wehnelt-Unterbrecher mit kontinuierlicher Kühlvorrichtung in den Handel gebracht. Die Kühlvorrichtung besteht aus einem Bleigefäß mit seitlich angesetzter Bleikühlschlange, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird und die beiden am Deckel befestigten Elektroden aufnimmt. Dieses Bleigefäß hängt in einem größeren mit Wasser gefüllten Behälter (Fig. 127 und 128), der eventuell an die Wasserleitung angeschlossen werden kann.

Da die größeren Funkeninduktoren der früheren Bauart, mit dem Wehnelt-Unterbrecher betrieben, keine befriedigende Leistung ergaben, meist

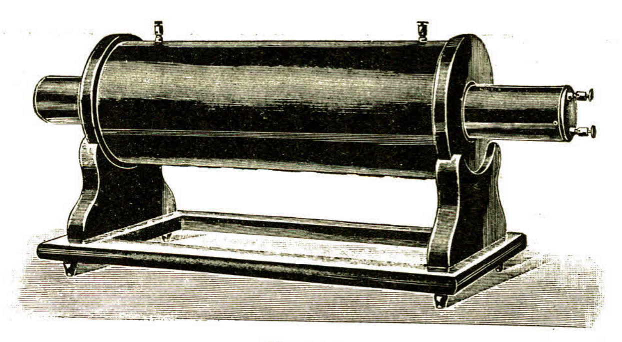


Fig. 129.

noch eines induktiven Vorschaltwiderstandes bedurften, so ging man bald dazu über, Spezialinduktoren für den Betrieb mittels Wehnelt-Unterbrecher zu bauen. Da hierbei ein Kondensator entbehrt werden kann, so fehlt an diesen Induktoren der Kondensatorkasten, was als äußerliches Kennzeichen gelten kann. Natürlich sind die Wicklungen der primären und sekundären Spulen den beim Wehnelt-Unterbrecher vorkommenden Stromverhältnissen angepaßt.

Fig. 129 zeigt einen derartigen Funkeninduktor von 40 cm Schlagweite von Max Kohl in Chemnitz, der in Verbindung mit dem ersten Modell des von Ferdinand Ernecke in Berlin hergestellten Wehnelt-Unterbrechers die in Fig. 130 und 131 abgebildeten kräftigen Funkenentladungen erzeugt.

Wegen des starken Geräusches, den der Wehnelt-Unterbrecher im Betriebe verursacht, ebenso wegen der unangenehmen Gasentwicklung, ist es in vielen Fällen (z. B. in Krankenzimmern, Operationssälen etc.) vorteilhaft, den Unterbrecher außerhalb des Arbeitszimmers, in welchem sich der Induktor befindet, aufzustellen. Um für diesen Fall die etwas umständliche Regulierung der Stiftlänge zu vermeiden, hat man Wehnelt-Unterbrecher mit mehreren Stiften von verschiedener Länge konstruiert,

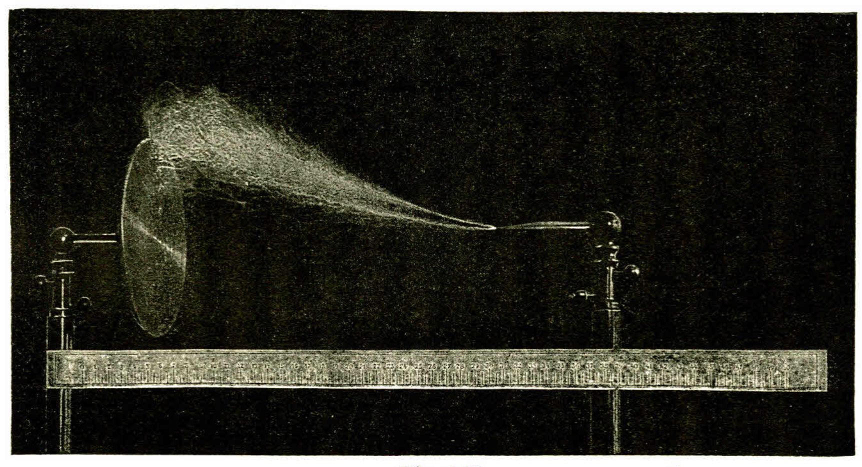


Fig. 130.

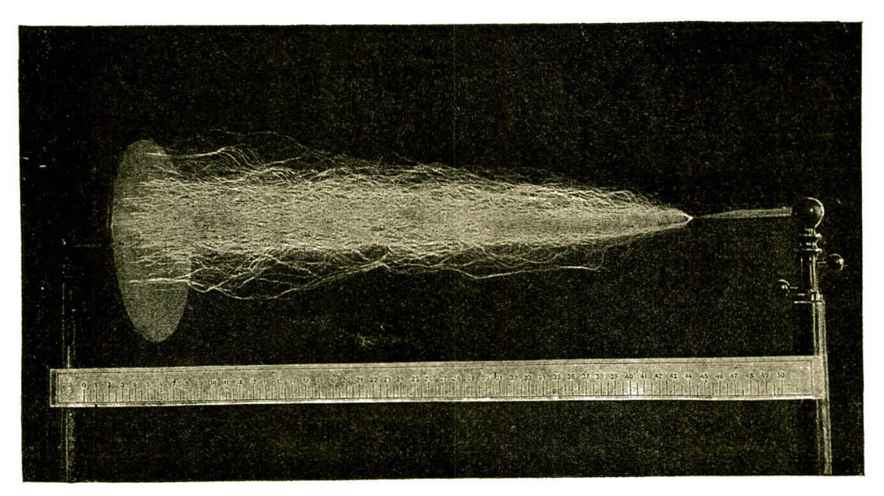


Fig. 131.

welche durch einen an einem Tableau angebrachten Schalter abwechselnd oder gleichzeitig betätigt werden können. In Fig. 132 ist ein solcher Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz dargestellt, der drei Stifte von verschiedener Länge enthält, und in Fig. 133 und 134 zwei mehrteilige Wehnelt-Unterbrecher von Siemens & Halske in Berlin abgebildet, die einen dünnen und zwei starke bezw. drei dünne und drei starke Platinstifte enthalten. —

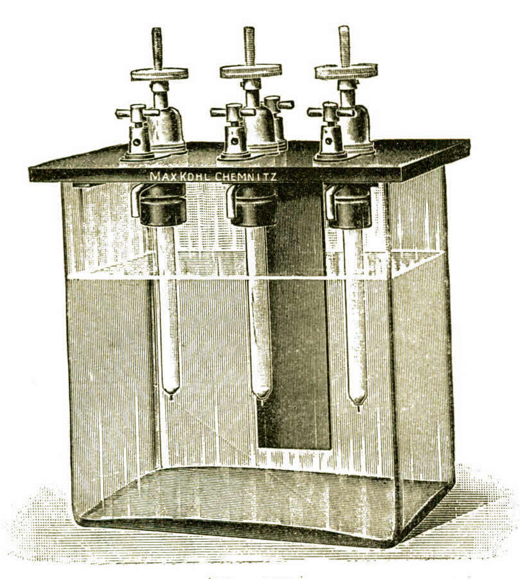


Fig. 132.

Um eine gute Regulierfähigkeit des Unterbrechers nach Funkenlänge und Unterbrechungszahl (insbesondere für Röntgenzwecke, bei harten und weichen Röhren) zu erzielen, ist außerdem eine Primärspule im Induktor mit veränderlicher Selbstinduktion erforderlich. Zu diesem Zweck wird die Primärspule so eingerichtet, daß, je nach Bedarf, die einzelnen Drahtlagen mittels eines Umschalters parallel, oder hintereinander, oder gruppenweise

geschaltet werden können. Man kann dann, in Verbindung mit einem mehrteiligen Unterbrecher, die Leistung des Induktors den jeweiligen Erfordernissen (Zustand der Röntgenröhre) anpassen. (Schaltung nach Dr. Walter und Dr. Albers-Schönberg in Hamburg.)*)

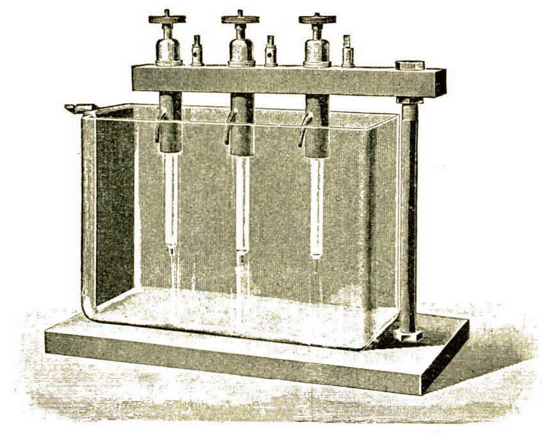


Fig. 133.

Diese Einrichtung hat zugleich den Vorzug, daß man denselben Induktor sowohl mit einem Wehnelt- als auch mit einem Quecksilberstrahl-Unterbrecher betreiben kann.

Reiniger, Gebbert & Schall rüsten ihre größeren Induktoren mit einem Dreifach-Umschalter (Fig. 135) aus, ebenso Max Kohl in Chemnitz (Fig. 136).

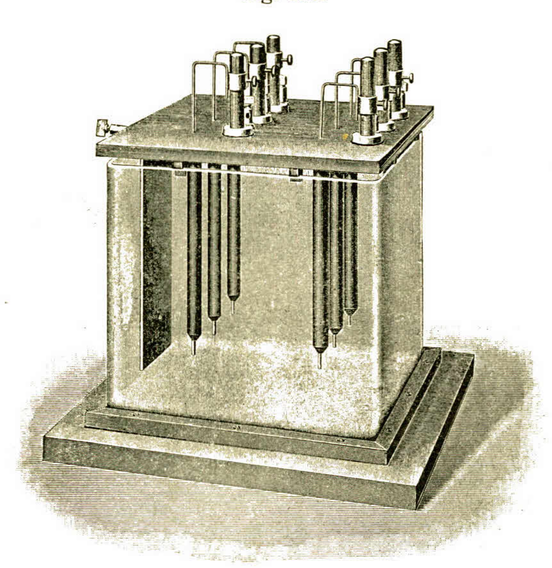


Fig. 134.

Schaltet man alle Drahtlagen hintereinander (Stöpsel für weiche Röhren), so erhöht sich die Selbstinduktion der Spule, die Unterbrechungen erfolgen langsamer und die Funkenlänge des Induktors wird stark vermindert. Benutzt man nun im Unterbrecher einen sehr kurzen Platinstift, so erhöht dies die Unterbrechungszahl unter gleichzeitiger Verminderung der Stromstärke, und der Induktor ist mit dieser Schaltung zum Betriebe weicher Röntgenröhren vorzüglich geeignet.

Schaltet man die Drahtlagen in zwei Gruppen (Stöpsel für mittelweiche Röhren), so vermindert sich die Selbstinduktion der Spule, die Unterbrechungen erfolgen schneller, die

*) Vergl. S. Walter, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Bd. IV, Heft I, S. 46 ff. 1900.

Funkenlänge erhöht sich. Man benutzt nun einen etwas längeren Platinstift, dadurch vermindert sich die Unterbrechungszahl bei gleichzeitiger Zunahme der Stromstärke, und der Induktor ist nun für mittelweiche Röhren sehr gut geeignet.

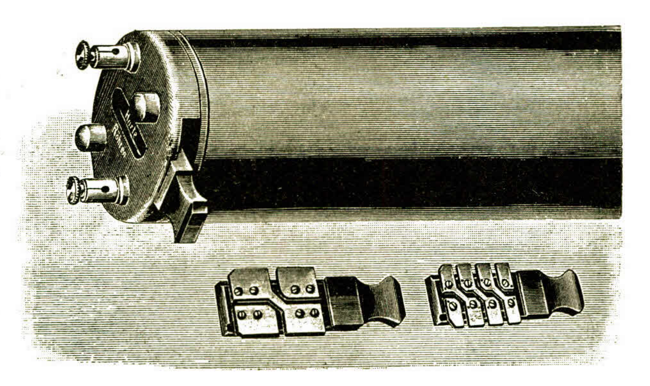


Fig. 135.

Für harte Röhren schaltet man mit dem entsprechenden Stöpsel alle Drahtlagen parallel, die Selbstinduktion der Spule ist dann sehr gering, die Unterbrechungen werden schnell und die Funkenlänge des Induktors erreicht ihr Maximum. Durch Verlängerung des Platinstiftes im Unterbrecher vermindert man die Zahl der Unterbrechungen unter gleichzeitiger Erhöhung der Stromstärke.

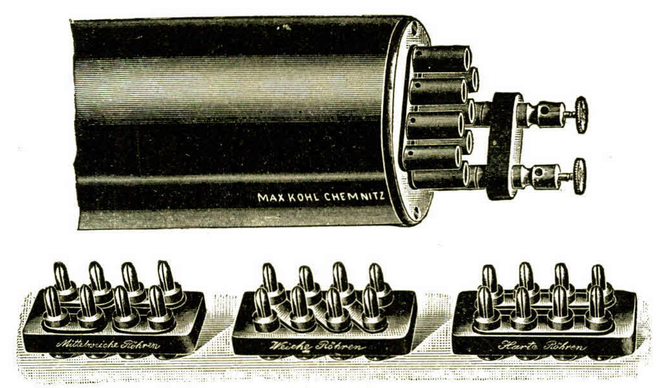


Fig. 136.

Die großen Induktoren werden sogar mit einer vierfachen Schaltung der primären Spule versehen. Fig. 137 zeigt einen derartig eingerichteten Induktor mit 60 cm Funkenlänge von Max Kohl in Chemnitz, und folgende Tabelle läßt die große Regulierfähigkeit desselben bei verschiedenen Längen des Platinstiftes und unter Benutzung eines Stromregulators erkennen:

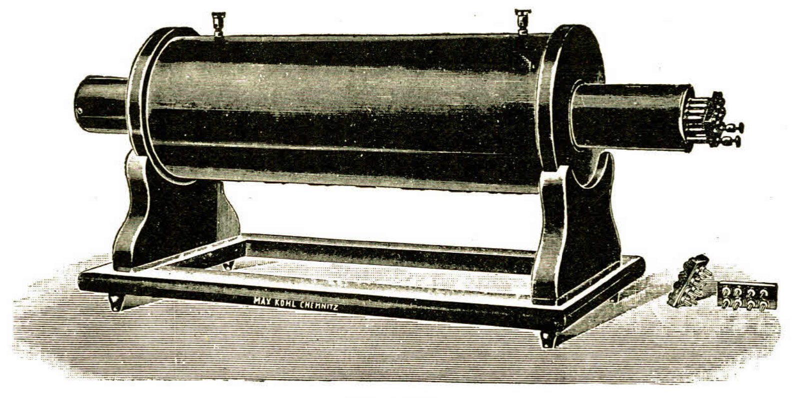


Fig. 137.

Prüfungsergebnisse des Funkeninduktors Nr. 1466.

Auftrags-Nr. 5052. Bestimmungsort: Königsberg. Größe: 11 a. Funkenlänge: 600 mm. Betriebsspannung 110 Volt.

Betrieb durch Wehnelt-Unterbrecher.

Chemnitz, den 18. Februar 1902.

Schaltung	Vom Widerstand war $^2/_3$ ausgeschaltet.			Der Widerstand war ganz ausgeschaltet.		
	Länge des Platinstifts	Stromstärke in der Primärspule	Funkenlänge	Länge des Platinstifts	Stromstärke in der Primärspule	Funkenlänge
Maximalleistung (Sehr kleine Selbstinduktion der Primärspule)	18 mm 16 „ 14 „ 12 „	20 Amp. 20 „ 18 „ 18 „	450 mm 400 „ 400 „ 400 „	18 mm 16 „ 14 „ 12 „	25-30 Amp. 25 „ 24 „ 23 „	600 mm 580 „ 560 „ 520 „
Harte Röhren (Kleine Selbstinduktion)	12 mm 10 „ 8 „ 6 „	20 Amp. 15 „ 12 „ 10 „	460 mm 450 „ 420 „ 380 „	12 mm 10 „ 8 „ 6 „	20 Amp. 15 „ 15 „ 10 „	460 mm 450 „ 450 „ 440 „
Mittelweiche Röhren (Mittlere Selbstinduktion)	8 mm 6 „ 4 „ 2 „	10 Amp. 8 „ 6 „ 2 „	300 mm 300 „ 290 „ 250 „	8 mm 6 „ 4 „ 2 „	10 Amp. 9 „ 7 „ 3 „	310 mm 300 „ 300 „ 260 „
Weiche Röhren (Große Selbstinduktion)	4 mm 3 „ 2 „ 1 „ $^1/_2$ „	5 Amp. 5 „ 3 „ 2 „ 1 „	220 mm 210 „ 190 „ 150 „ 80 „	4 mm 3 „ 2 „ 1 „ $^1/_2$ „	6 Amp. 5 „ 2 „ 2 „ 1 „	230 mm 220 „ 190 „ 160 „ 80 „

Betrieb durch Motor-Unterbrecher.

	Vom Widerstand war $^1/_2$ ausgeschaltet.		Der Widerstand war ganz ausgeschaltet.	
	Stromstärke in der Primärspule	Funkenlänge	Stromstärke in der Primärspule	Funkenlänge
Es ist die Schaltung »Maximalleistung« zu verwenden.	3 Amp.	500 mm	3—4 Amp.	550 mm

Um die Umschaltung, die bei großen Induktoren recht kompliziert werden kann, zu erleichtern, hat man die Schaltapparate und feiner abgestuften Regulierwiderstände in einem fahrbaren Schalttisch oder einer Wandschalttafel vereinigt, so daß man von einer Stelle aus alle Kombinationen zwischen den verschiedenen Platinelektroden des Wehnelt-Unterbrechers und den verschiedenen Abteilungen der Primärwicklung bewirken kann. Wir werden in einem folgenden Abschnitt hierauf noch zurückkommen; zunächst wollen wir noch auf einige andere Konstruktionen des Wehnelt-Unterbrechers eingehen.



Fig. 138.

In Fig. 138 ist ein Wehnelt-Unterbrecher mit der Hirschmannschen Anordnung der Platinelektrode dargestellt. Dieselbe ist scheibenförmig und liegt zwischen zwei Porzellanflächen, von denen die untere einen kleinen festen Porzellankegel abschließt, während die obere Fläche das Ende eines Porzellanrohres bildet, das eine im Centrum der Platinplatte liegende Ableitung hindurchtreten läßt, die oben aus dem Porzellanrohr herausragt. Letzteres wird durch einen metallischen Halter getragen, der es ermöglicht, daß mittels einer Metallbrücke und einer Schraube der untere Porzellankörper fest gegen die Platinplatte gepreßt wird, welche von dem Porzellanrohre mittels des Ableitungsdrahtes getragen wird. Die sorgfältig bearbeiteten Platinflächen und die geschliffenen Porzellanflächen gestatten, bei ausreichendem Druck einen vollkommenen dichten Abschluß der Scheibenflächen gegen die Flüssigkeit zu erzielen, derart, daß nur der Rand der Scheibe mit der Flüssigkeit in Berührung steht.

Die Platinplatte hat einen Durchmesser von 7 bis 8 mm und wird zum Zwecke der Veränderung der Intensität für die einzelnen Unterbrecher in verschiedener Dicke: 0,3 bis 1 mm hergestellt. Fig. 139 zeigt

einen derartigen Flüssigkeits-Unterbrecher mit drei verschieden großen Platinelektroden.

Cox in London bringt ebenfalls eine neue Form des Wehnelt-Unterbrechers auf den Markt. Bei seiner Konstruktion besteht die Kathode aus einem gekrümmten Bleirohr, welches die aus einem Kupferdraht gebildete und mit einem Isoliermaterial bekleidete Anode umschließt, so daß nur der am Ende des Kupferdrahtes angelötete Platindraht hervorragt. Die Frequenz wird durch eine kleine Glasröhre reguliert, die (durchaus nicht dicht anliegend) mehr oder weniger weit über den Platindraht geschoben wird. Dieser Unterbrecher soll recht gut arbeiten, wenig Geräusch machen und nicht so schnell ermüden.

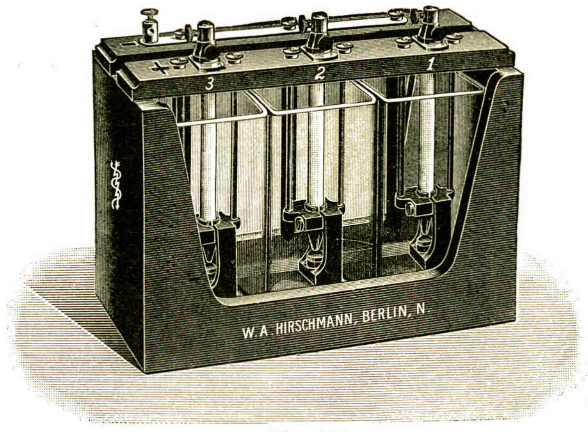



Fig. 139.


Fig. 140.

Eine weitere Modifikation des Wehnelt-Unterbrechers ist die in Fig. 140 dargestellte Konstruktion von Dessauer in Aschaffenburg. Die Anode ist hierbei erheblich stärker als bei den früher beschriebenen Konstruktionen (etwa 2 bis 3 mm im Durchmesser) und besitzt eine verhältnismäßig große, ebene Endfläche; sie ist centrisch in einem aufrecht angeordneten, cylindrischen Porzellanrohr von etwa 15 mm äußerem Durchmesser angeordnet. Mittels einer Mikrometerschraube läßt sich die Anode in dem Porzellanrohr auf- und abschieben. Da sich die untere Anodenfläche stets mehr oder weniger tief innerhalb des Porzellanrohres befindet und überdies allmählich in vertikaler Richtung verschoben werden kann, so bleibt stets vor der stumpf endenden Anode eine mehr oder weniger lange Flüssigkeitssäule von geringem Querschnitte vorgeschaltet. Durch die Erwärmung und schließliche Verdampfung dieser in der Röhre befindlichen Flüssigkeitsmenge wird der Unterbrechungsvorgang befördert. Die Frequenz ist in den weitesten Grenzen regulierbar.

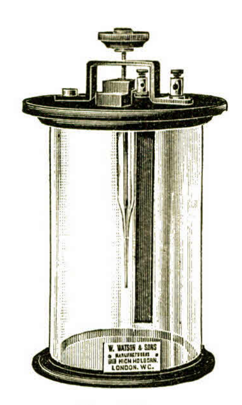


Fig. 141.

Ähnlich wirkt auch der von Watson and Sons in London konstruierte Coddsche Flüssigkeits-Unterbrecher, den Fig. 141 darstellt. Bei ihm bewegt sich der Platindraht in einer feinen Glasröhre.

Während der Wehnelt-Unterbrecher von der Stromrichtung abhängig ist, insofern die Platinelektrode stets Anode sein muß und für Röntgenzwecke eine große Regulierbarkeit erfordert, die sich nur durch veränderliche Primärspulen, durch Anwendung verstellbarer oder mehrerer Kontaktstifte erreichen läßt, was immerhin eine ziemliche Komplikation und Verteuerung der Anlage zur Folge hat, besitzt die andere Art der Flüssigkeits-Unterbrecher, deren Grundtypus der

2. Caldwell-Simonsche Loch-Unterbrecher ist, die eben genannten Übelstände nicht. Sein Betrieb ist von der Stromrichtung unabhängig; er besitzt eine genügende Regulierbarkeit, der starke Platinverbrauch des Stift-Unterbrechers oder irgendwelche Abnutzung findet nicht statt. Derselbe ist auch noch bei Spannungen bis zu 250 Volt verwendbar, während der Wehnelt-Unterbrecher nur bis zu 150 Volt benutzt werden kann. Sein einziger Nachteil dem Wehnelt-Unterbrecher gegenüber besteht darin, daß seine Frequenz im allgemeinen etwas niedriger ist und daß er bei sehr geringer Unterbrechungszahl nicht ganz so regelmäßig unterbricht.

Der Unterbrechungsvorgang findet bei den Loch-Unterbrechern an einer beliebigen Stelle zwischen den beiden Elektroden, an einer Einschnürungsstelle des Elektrolyten durch ein Diaphragma aus isolierendem Material statt.

Der Simon-Unterbrecher besteht bei der Siemens & Halskeschen Ausführungsform (Fig. 142) aus einem Glasgefäß, in dem zwei Bleielektroden in verdünnter Schwefelsäure hängen. Beide Elektroden sind durch ein cylinderförmiges, unten halbkugelartig abgerundetes Porzellan-Diaphragma getrennt. Das Diaphragma hat am Boden ein oder mehrere kleine Löcher, und hängt von der Größe bezw. Anzahl dieser Löcher die Betriebsstromstärke und Unterbrechungszahl ab. Bei der älteren Ausführungsform besaß das Porzellan-Diaphragma innerhalb des Gefäßes eine seitliche Öffnung, welche den Zweck hatte, die beim Arbeiten des Unterbrechers im inneren Gefäß hochsteigende Schwefelsäure nach dem äußeren Gefäß zurücklaufen zu lassen. Da ein solches Überlaufen aber zu einem Kurzschluß, unter Umständen sogar zu einer Explosion der im Gefäße sich ansammelnden Gase führen kann, ist das Überlaufloch bei dem neueren

Modell (Fig. 143) oberhalb des Deckels angebracht und so der Übelstand zum größten Teil beseitigt.

Eine ähnliche Konstruktion weist Campbell Swintons Modifikation des Caldwell-Unterbrechers auf. Bei demselben kann die Lochgröße und damit die Stromstärke bezw. die Unterbrechungszahl mittels eines konischen Glasstiftes, der verstellbar ist und in das Loch geschoben wird, reguliert werden.

Um das recht unangenehme Steigen der Schwefelsäure in dem inneren Gefäße und die daraus resultierende Unregelmäßigkeit der Unterbrechungszahl zu beseitigen, konstruierte Verfasser seinen

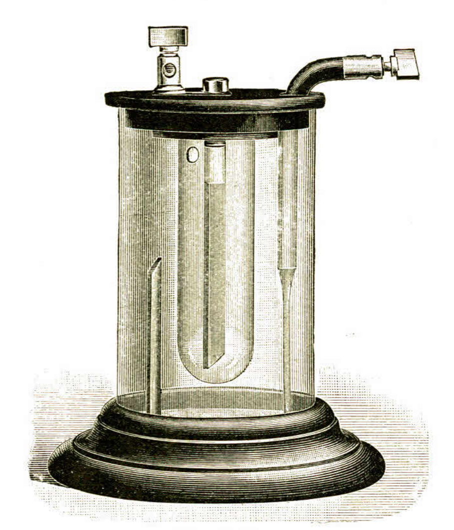


Fig. 142.

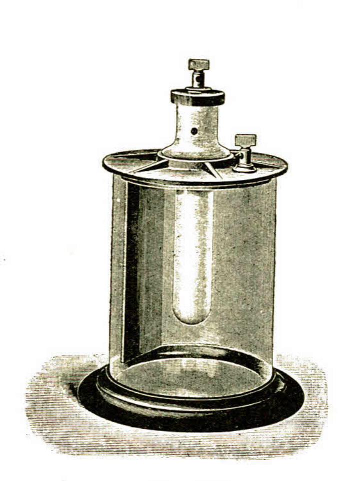


Fig. 143.

Plättchen-Unterbrecher. Das Steigen der Säure im inneren Rohr hat nämlich seine Ursache in der ungleichen Größe bezw. dem ungleichen Inhalt der beiden Gefäße. Der Plättchen-Unterbrecher besteht deshalb aus zwei inhaltlich und der Form nach ganz gleichen, halbcylindrischen Porzellangefäßen *A A* (Fig. 144), welche mit ihren flachen Seitenwänden aneinander gelegt und durch Schrauben *B B*, die durch seitliche Ansätze gesteckt sind, zu einem cylindrischen Doppelgefäß verbunden werden. In den Zwischenwänden befinden sich kreisförmige, größere Löcher *C*, durch welche beide Gefäße nach dem Zusammensetzen kommunizieren. Durch ein dazwischen gelegtes dünnes Porzellanplättchen (Fig. 145), welches in seiner Mitte eine oder auch mehrere runde, beiderseits konisch versenkte Öffnungen hat, wird die Kommunikation beider Gefäße noch mehr verengt. Die Dichtung erfolgt mit Gummischeiben und bietet keinerlei Schwierig-

keiten. Die Auswechselung eines solchen Plättchens zum Zwecke der Veränderung des Durchgangsquerschnittes kann innerhalb einiger Minuten erfolgen. Die Plättchen sind der Abnutzung nicht unterworfen, die Löcher darin mit großer Genauigkeit und in jeder beliebigen Größe geschliffen.

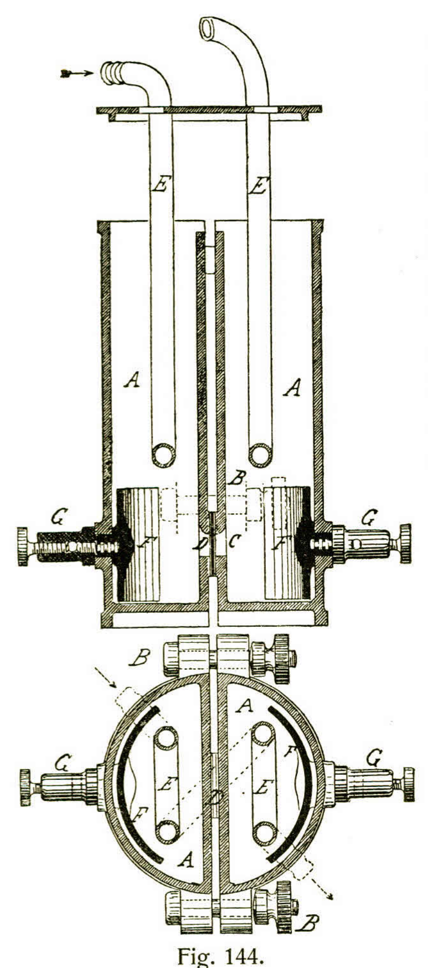


Fig. 144.

Der Unterbrecher wird in mehreren Größen und Ausführungsformen hergestellt. Bei dem kleinen Modell ist mit dem Deckel des Gefäßes eine eigentümlich geformte Kühlschlange aus Porzellanrohr fest verbunden, welche beim Abheben des Deckels aus dem Unterbrecher mit herausgezogen wird. An diesem Deckel sitzen ferner, mit den Polklemmen befestigt, die beiden Bleielektroden, deren untere, der Unterbrechungsöffnung benachbarte Enden zu kreisförmigen Scheiben ausgebildet sind, um den inneren Widerstand des Unterbrechers nach Möglichkeit herabzusetzen und dadurch den Nutzeffekt zu erhöhen (vergl. den Querschnitt Fig. 146).

Oben, dicht unter dem Deckel, tragen die Elektroden Isolatoren zum Zwecke, die aufspritzenden Schwefelsäurebläschen vom Deckel abzuhalten, um so die Bildung von Nebenschlüssen und Gleitfunken zu verhindern.

Eine praktische Neuerung sind hierbei ferner die aus nichtleitendem und schwefelsäurebeständigem Material hergestellten Polklemmen und Zusammenhalteschrauben. Bei der neueren Form des Plättchen-Unterbrechers (in Fig. 144 und 147 abgebildet) sind die Elektroden nicht mehr am Deckel des Gefäßes, sondern seitlich und gänzlich unter dem Schwefelsäureniveau liegend angebracht. Nebenschlüsse und die Explosionsgefahr durch Gleitfunken sind hierdurch völlig ausgeschlossen.

Eine Zwischenstellung zwischen der Siemens & Halskeschen und der soeben beschriebenen Form des Loch-Unterbrechers nimmt die

Levysche Konstruktion desselben ein. Derselbe behält das Siemens & Halskesche Diaphragma bei, versieht dasselbe aber an seinem unteren Ende mit einer Vorrichtung zur Anbringung und zum Auswechseln von einem Porzellanplättchen, wie solche bei dem Plättchen - Unterbrecher Anwendung finden. Diese Konstruktion besitzt natürlich genau dieselben Nachteile wie jene von Siemens & Halske, die vorhin erwähnt wurden.

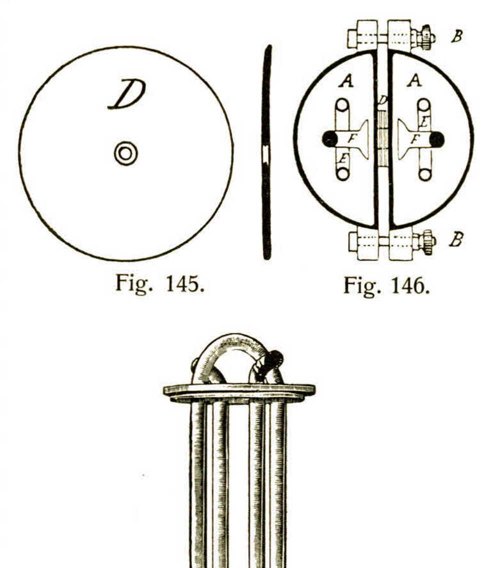


Fig. 145. Fig. 146.

Fig. 147.

Die Loch-Unterbrecher besitzen, wie schon hervorgehoben wurde, eine große Regulierfähigkeit. Es können die Verhältnisse so abgestimmt werden, daß durch alleinige Benutzung eines Regulierwiderstandes, mit einer einzigen Lochgröße und nur einer Selbstinduktion, eine z. B. für Röntgenzwecke völlig ausreichende Regulierung erzielt wird, wie dies mit einem Plättchen-Unterbrecher auf der Naturforscher-Versammlung 1901 in Hamburg konstatiert wurde,*) so daß er bis zu einem ziemlich hohen Grade der Vollkommenheit allen in der Praxis vorkommenden Fällen genügt.

Die Loch-Unterbrecher eignen sich für Spannungen von 70 bis 250 Volt und ihr Stromverbrauch ist ein verhältnismäßig geringer. In Fig. 148 sind die an acht verschiedenen Induktoren mit Schlagweiten von 15 bis 70 cm gemessenen Stromstärken (bei 110 Volt Betriebsspannung) sowie die dabei benutzten Lochweiten graphisch aufgetragen.

Die Flüssigkeits-Unterbrecher zeichnen sich im allgemeinen durch ihre Einfachheit und Billigkeit, durch den Fortfall jeder Reinigung, die Mög-

*) Vergl. Bericht der Prüfungskommission in »Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen«. Bd. V, Heft 1, S. 79. 1901.

lichkeit, den Induktor mit sehr hohen Unterbrechungszahlen stark auszunutzen — was besonders für Röntgenzwecke zur Erzielung ruhiger Fluoreszenzbilder und abgekürzte Expositionszeit wichtig ist — aus. Durch den Fortfall des Kondensators wird der Preis des Induktoriums wesentlich verbilligt.

Zu ihren Ungunsten spricht die geringe Ökonomie, indem der größte Teil der Stromenergie im Unterbrecher nutzlos in Wärme verwandelt wird, sodann ihr starkes Geräusch und die Entwicklung übel riechender Gase. Aus den letzten beiden Gründen stellt man die Unterbrecher zweckmäßig in einen Nebenraum. Die Anzahl der Unterbrechungen und die Leistung ist abhängig von der Belastung des sekundären Kreises.

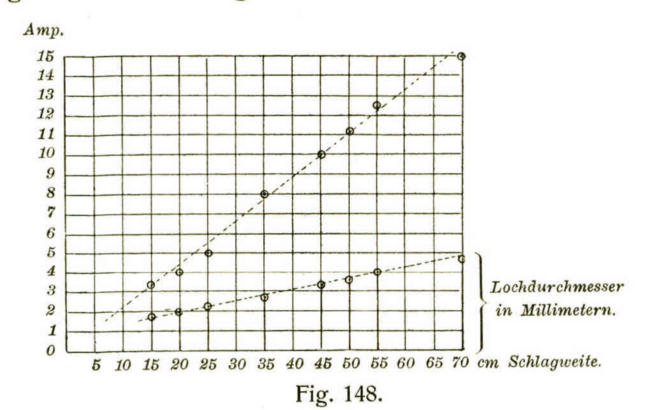


Fig. 148.

Im allgemeinen wird es sich empfehlen, die Flüssigkeits-Unterbrecher bei Netzanschlüssen (70 bis 250 Volt), die Quecksilberstrahl-Unterbrecher dagegen bei Akkumulatorenbetrieb anzuwenden. In den Fällen, wo es auf Regelmäßigkeit der Unterbrechungen ankommt, wird man die Quecksilberstrahl-Unterbrecher, in den Fällen, wo hohe Unterbrechungszahlen erwünscht sind, wird man die Flüssigkeits-Unterbrecher vorziehen.

2. Unterbrecher für Wechselstrom.

Da ein Wechselstrom seine Intensität und Richtung periodisch ändert, so müßte derselbe nach den auf S. 2 auseinander gesetzten Prinzipien schon allein, ohne Zwischenschaltung eines Unterbrechers, zum Betriebe eines Induktors verwendet werden können. Dies ist in der Tat der Fall und findet in der Praxis bei den technischen Transformatoren für Licht- und Kraftströme eine ausgedehnte Anwendung, um Wechselströme von einer bestimmten Spannung in Wechselströme anderer Spannung zu verwandeln. Der in der sekundären Spule induzierte Strom besitzt dann natürlich auch

den Charakter des Erregerstromes, d. h. er ist ebenfalls ein Wechselstrom. Für viele physikalische Zwecke hat das keinerlei Nachteile, im Gegenteil, oft ist es sogar erwünscht, einen Induktor direkt mit Wechselstrom zu speisen. Infolge des langsamen Anstieges und Abfalles der Stromstärke ist die Induktionswirkung aber eine viel schwächere, d. h. die in der sekundären Spule des Induktors erzielte Spannung ist eine bedeutend geringere als bei unterbrochenem Strom, während die Stromstärke in gleichem Verhältnis größer ist. Bei der drahtlosen Telegraphie und bei Teslaexperimenten wendet man die Speisung von Induktoren mittels Wechselstrom sehr häufig an, da man dabei die sehr viel größeren Energiemengen in der sekundären Spule des Induktors leichter erhält als mittels des Gleichstrom-Unterbrechers. Für Röntgenzwecke ist es dagegen erforderlich, die Röhren mit mehr oder minder stark ausgeprägtem Gleichstrom zu betreiben und ist es zu diesem Zweck bei vorhandenem Wechselstromanschluß am vorteilhaftesten, mittels eines Wechselstrom-Gleichstromumformers (vergl. diesen besonderen Abschnitt) den Wechselstrom in Gleichstrom zu verwandeln und letzteren dann zum Betriebe des Induktoriums in der früher beschriebenen Weise zu benutzen. — Eine derartige Anlage ist aber ziemlich kostspielig im Anschaffungspreise, so daß man in vielen Fällen Wechselstrom-Unterbrecher anwendet. Bei denselben wird nur eine Phase des Wechselstromes benutzt (vergl. Fig. 149), die andere soviel wie möglich unterdrückt. Um einen hohen Induktionseffekt zu erzielen, muß der Strom auf dem Gipfel der gleichnamigen Phasen, also in dem Augenblicke der höchsten Stromentfaltung unterbrochen werden. Im allgemeinen erfordern also die Wechselstrom-Unterbrecher eine sehr genaue Einstellung, und ihr Nutzeffekt ist ein niedriger.

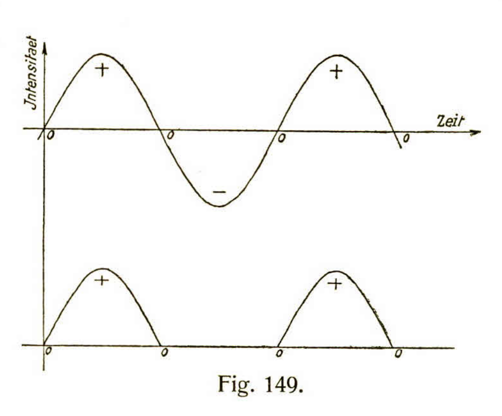


Fig. 149.

Man kann die Wechselstrom-Unterbrecher in mechanische und Flüssigkeits-Unterbrecher gruppieren.

a) Mechanische Wechselstrom-Unterbrecher.

Hierhin gehört der Wechselstrom-Platin-Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz, der etwas ausführlicher behandelt werden soll. Bei ihm wird durch einen synchron schwingenden Anker der in die primäre Spule des

Induktors geleitete Wechselstrom während jeder Periode einmal, und zwar im Maximum der Stromkurve unterbrochen. Der polarisierte Anker wird durch einen Elektromagnet, der in einen zweiten Stromkreis des gleichen Wechselstromes geschaltet ist, in mit den Phasen des Wechselstromes synchrone Schwingungen versetzt. Die Einstellung der Unterbrechung auf den Moment des Maximums der Stromstärke erfolgt durch eine Regulierschraube. In Fig. 150 ist der Kohlsche Wechselstrom-Unterbrecher schematisch dargestellt. Schließt man mit Hilfe des Ausschalters *A* den Strom des Elektromagneten *E*, so wird der polarisierte Anker *G* jedesmal dann angezogen, wenn die Polarität der Spule der des Ankers entgegengesetzt ist. Der Anker

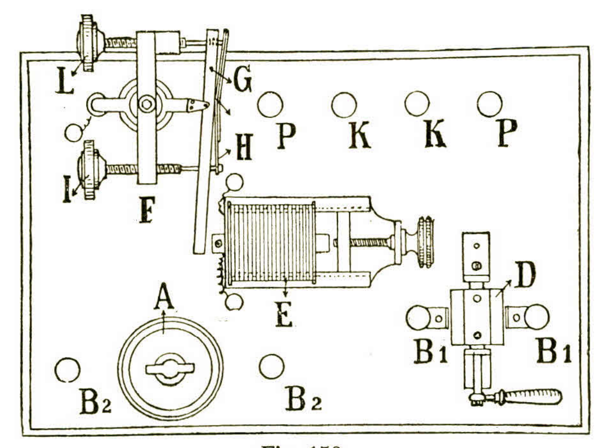


Fig. 150.

wird daher mit den positiven oder den negativen Phasen des Wechselstromes in synchrone Schwingungen versetzt. Durch die Schwingungen des Ankers wird die Kontaktfeder *H* mitbewegt, und es wird der an der Feder befindliche Platinkontakt von der Kontaktschraube *I* entfernt und der Strom unterbrochen. Bei der Rückschwingung wird der Kontakt wieder hergestellt. Die Einstellung der Unterbrechung auf das Maximum der Stromstärke erfolgt durch die Stellschraube *I*, während die Eigenschwingung des Ankers, der Periodenzahl des Wechselstromes entsprechend, durch die Schraube *L* mit Elfenbeinstift reguliert werden kann. Die Klemmen $B_2 B_2$ dienen zur Stromzuführung für den Funkeninduktor, *D* ist ein Stromwender, *P P* werden mit der Primärspule des Induktors, *K K* mit dem Kondensator verbunden. Dieser in Fig. 151 dargestellte Wechselstrom-Unterbrecher bedarf einer sehr sorgfältigen Einstellung, doch wird derselbe von der ihn liefernden Firma richtig eingestellt geliefert. Der Anschluß an das Leitungsnetz erfolgt, wenn kein Schaltbrett zur Verwendung gelangt, nach dem im Kapitel VIII gegebenen Leitungsschema.

Der Unterbrecher läßt demnach die eine Phase des Wechselstromes die Primärspule des Induktors passieren, ohne sie zu unterbrechen, infolgedessen sie natürlich nur sehr schwach induktiv wirkt, während die andere Phase im Maximum der Stromstärke unterbrochen wird und stark induzierend wirkt; es ist daher von vornherein klar, daß dieser Unterbrecher, wie überhaupt alle Platin-Wechselstrom-Unterbrecher, recht unökonomisch wirken muß. Die Funkenlänge ist durchschnittlich um $5\,^0/_0$ kleiner als bei einem Quecksilber-Unterbrecher, weil die Unterbrechung, in der Luft erfolgend, nicht exakt ist. Derartige Unterbrecher kommen daher nur bei kleineren Induktoren, etwa bis zu 20 cm Funkenlänge in Betracht.

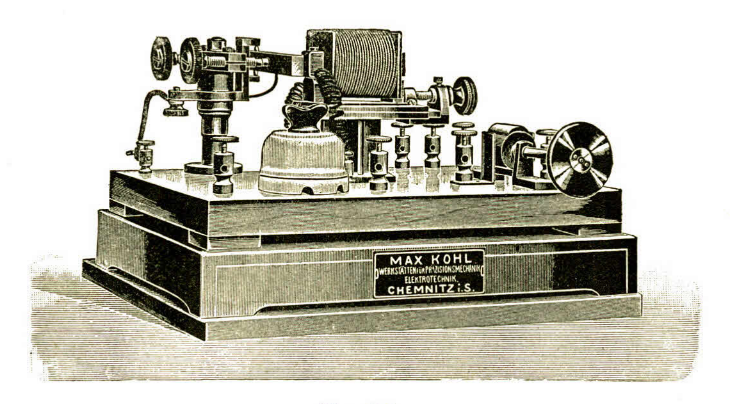


Fig. 151.

Der auf S. 73 bis 74 beschriebene Villard-Chabaudsche Stimmgabel-Unterbrecher kann auch mit Wechselstrom betrieben werden. Stimmt man nämlich die Stimmgabel auf die Periodenzahl des Wechselstromes ab, so wird der mit der Stimmgabel verbundene, durch den Spalt des ringförmigen Magneten führende Arm während einer Phase in das Quecksilber eintauchen, während er in der andern Phase die entgegengesetzte Richtung einschlägt. Daher wird während jeder Periode nur eine Unterbrechung stattfinden. Die Bewegung der Stimmgabel erfolgt zweckmäßig durch einen besonderen, aus demselben Leitungsnetze entnommenen Zweigstrom, während der Speisestrom durch ein besonderes Quecksilbergefäß fließt (Fig. 152). Die von dem Leitungsnetz abgezweigte Leitung speist einen kleinen Transformator (Fig. 153), dessen Sekundärwicklung mit dem Unterbrecher verbunden ist. Der transformierte Strom fließt beständig durch denjenigen Teil der Stimmgabel, der von dem Magneten umschlossen ist. Da aber der Strom in seiner Phase in Bezug auf den primären Strom verschoben ist, so ist es möglich, eine solche Regelung

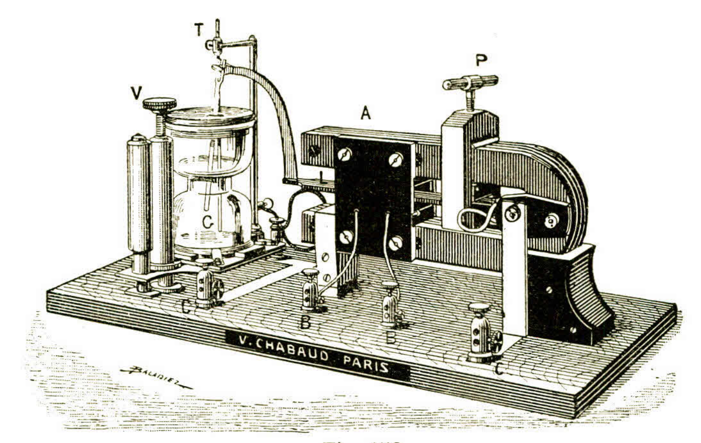


Fig. 152.

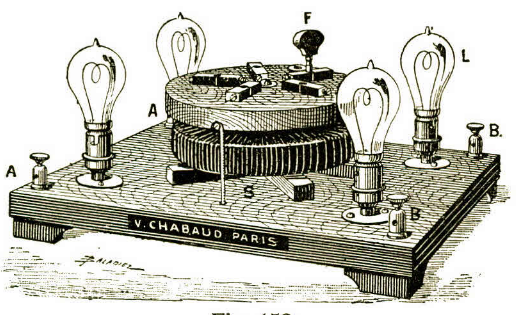
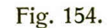
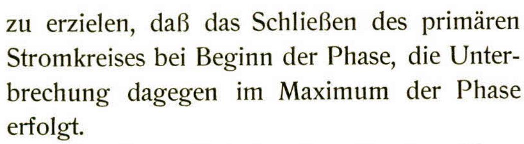


Fig. 153.





zu erzielen, daß das Schließen des primären Stromkreises bei Beginn der Phase, die Unterbrechung dagegen im Maximum der Phase erfolgt.

Fig. 154.

Da dieser Unterbrecher die eine Phase vollständig unterdrückt, arbeitet er ökonomischer als der vorhin beschriebene. Ein gleiches ist bei den durch einen Synchronmotor angetriebenen Quecksilberstrahl-Unterbrechern der Fall.

Fig. 154 zeigt die äußere Ansicht des Turbinen-Quecksilber-Unterbrechers für Wechselstrom der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin. Der Unterbrechungsapparat ist genau derselbe wie bei dem früher beschriebenen Turbinen-Unterbrecher für Gleichstrom. Der Motor ist hier über dem Unterbrecher angeordnet und mit der Turbinenwelle gekuppelt; er wird beim Anlassen durch ein Handrad in synchronen Lauf mit dem Betriebswechselstrom gebracht. Um den Stromschluß und die Unterbrechung in den richtigen Zeitmomenten bewirken zu können, ist das Polgehäuse des Motors drehbar gelagert.

Die mechanischen Unterbrecher für Wechselstrom sind in der Unterbrechungszahl von der Periodenzahl des Wechselstromes abhängig, dieselbe beträgt somit meist 50 in der Sekunde. Daß die Unterbrechungszahl nicht beliebig veränderlich ist, muß als ein Nachteil der mechanischen Wechselstrom-Unterbrecher angesehen werden.

b) Flüssigkeits-Unterbrecher für Wechselstrom.

Für kleinere Induktoren ist der Wehnelt-Unterbrecher ohne weiteres auch bei Wechselstrom anwendbar, da er nicht nur als Unterbrecher, sondern gleichzeitig als Stromrichter wirkt. Er unterbricht nur die positiven Phasen, läßt dagegen die negativen Impulse durch, ohne sie zu unterbrechen. Dies ist allerdings eine Stromverschwendung. Bei größeren Induktoren sind außerdem die Schließungsfunken zu stark ausgeprägt und müssen deshalb bei Anwendung für Röntgenstrahlenerzeugung durch Einschaltung von Funkenstrecken oder Drosselröhren in den sekundären Stromkreis (vergl. Kapitel X, Abschnitt 2) vermindert werden. Schließlich ist der Platinverbrauch beim Wechselstrombetriebe ein recht beträchtlicher, man wendet daher von vornherein dicke Stifte an.

Auch der Loch-Unterbrecher ist bei Wechselstrom anwendbar, jedoch unterbricht er in beiden Stromphasen und ist aus diesem Grunde für Röntgenzwecke nicht ohne weiteres geeignet. Soll er nur eine Stromphasenreihe unterbrechen, so muß man ihn mit einer Strom-Gleichrichtevorrichtung kombinieren.

Eine solche Gleichrichtevorrichtung beruht auf der Ventilwirkung einer Aluminiumelektrode. Die einfachste Vorrichtung dieser Art besteht aus einer mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten elektrolytischen Zelle, welche eine Blei- und eine Aluminiumplatte als Elektroden enthält. Eine solche Zelle besitzt eine scheinbare Polarisationsspannung von ca. 20 Volt (Grätz & Pollak 1897), welche nach den Untersuchungen von Streintz der Bildung eines Übergangswiderstandes durch eine sich bildende, schlecht leitende, dünne Oxydschicht zuzuschreiben ist. Durch geeignete Wahl der Elektrolyten kann man derartige Gleichrichtezellen herstellen, welche bis zu mehreren Hundert Volt polarisieren. Verfasser dieses hat seinen Plättchen-Unterbrecher (vergl. S. 106) in der Weise modifiziert, daß an Stelle der Schwefelsäure ein anderer Elektrolyt und an Stelle der einen Bleielektrode eine Aluminiumelektrode verwendet wird. Der Plättchen-Unterbrecher unterbricht dann nur in der einen Phase und bildet gleichsam eine Gleichrichtezelle in sich selbst, so daß er ohne weiteres auch zu Röntgenzwecken bei Wechselstrombetrieb benutzt werden kann. Diese Form des Unterbrechers funktioniert bei hohen Betriebsspannungen (220 Volt) sehr

gut. Will man einen gewöhnlichen, mit Schwefelsäure gefüllten Loch-Unterbrecher benutzen, so muß man eine oder mehrere besondere Gleichrichtezellen vorschalten. Verfasser dieses hat derartige Zellen konstruiert und ausgeführt, die sich recht gut bewährt haben. Dieselben bestehen aus mehreren parallel geschalteten Blei- und Aluminiumplatten, die sich in einem Glasgefäß mit geeigneten Salzlösungen befinden. Nur diejenige Stromphase wird durchgelassen, bei welcher die Aluminiumelektrode Kathode ist.

Ähnlich konstruiert ist der Nodonsche Gleichrichter. Derselbe besteht aus einer cylinderförmigen Eisenelektrode, die durchlöchert ist und in ihrem Innern einen aus einer Zink-Aluminiumlegierung bestehenden Cylinder enthält. Beide Elektroden befinden sich in einem Gefäß mit einer gesättigten Lösung von Ammoniumphosphat. Dieser Gleichrichter polarisiert bis zu 140 Volt.

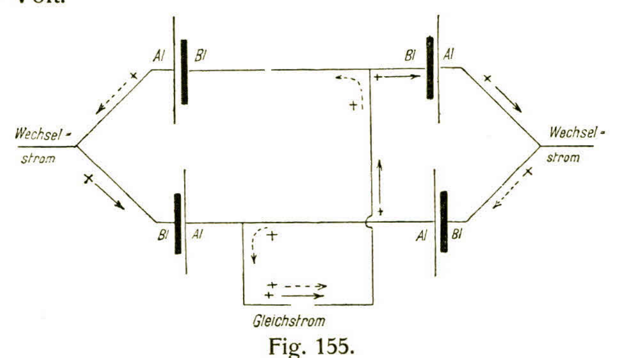


Fig. 155.

Durch geeignete Schaltung mehrerer Gleichrichtezellen kann man auch beide Phasen des Wechselstromes ausnutzen. Fig. 155 zeigt eine diesbezügliche von Grätz angegebene Schaltung. Für Wechselstrom braucht man vier, für Drehstrom sechs Gleichrichtezellen.

Hierher gehört endlich auch der Grisson-Gleichrichter, der häufig in Verbindung mit Röntgeneinrichtungen nach Dr. Walter und Albers-Schönberg zur Anwendung gelangt.

Die Regulierbarkeit der Flüssigkeits-Unterbrecher bei Wechselstrom ist etwas geringer als bei Gleichstrombetrieb. Gegenüber den mechanischen Wechselstrom-Unterbrechern besitzen sie den Vorteil der Einfachheit in Konstruktion und Betrieb, auch ist die Unterbrechungszahl nicht wie bei den mechanischen Wechselstrom-Unterbrechern ausschließlich gleich der Wechselstromperiodenzahl, sondern kann ein Vielfaches derselben betragen, da jede Phase mehrere Male unterbrochen werden kann. Für Röntgenzwecke genügen die Flüssigkeits-Unterbrecher in Verbindung mit Gleichrichtezellen recht hohen Anforderungen.

Ehe wir diesen Abschnitt verlassen, mögen noch einige Angaben über die

Reinigung des Quecksilbers

folgen, welche bei den Quecksilber-Unterbrechern von Nutzen sein könnten. Das mit Petroleum oder Parraffinöl verschlammte Quecksilber wird zunächst mit Benzin, dann mit heißer Sodalösung gut ausgewaschen. Dann spült man mit Wasser nach und trocknet es mit Fließpapier. Schließlich wird es durch einen reinen Lederlappen gepreßt. Das mit Alkohol verschlammte Quecksilber wird nur mit Wasser ausgewaschen, dann mit Fließpapier getrocknet und durch Leder gepreßt.

In dem folgenden Abschnitte wenden wir uns den zum Betriebe eines Induktors dienenden Stromquellen zu.

Sechstes Kapitel.

Stromquellen.

1. Tauchbatterien.

Überall da, wo ein elektrischer Anschluß an eine Licht- oder Kraftcentrale nicht vorhanden ist und die Gelegenheit zum Laden von Akkumulatoren fehlt, muß man sich mit der Erzeugung des elektrischen Stromes mittels Primärbatterie behelfen. Derartige Fälle sind verhältnismäßig selten und möge daher dieser Fall nur kurz erörtert werden. Es können hierbei nur diejenigen Elemente Verwendung finden, welche große Energiemengen zu liefern imstande sind, und eignen sich deshalb zum Betriebe eines Induktors fast ausschließlich nur die Chromsäure-Tauchbatterien. Die Benutzung der Flüssigkeits-Unterbrecher ist von vornherein ausgeschlossen und kommen, mit Rücksicht auf die nur geringen Energiemengen und hohen Stromkosten, zum Betriebe nur die Platin-Unterbrecher, Quecksilber-Unterbrecher und günstigsten Falles die Motor-Quecksilber-Unterbrecher in Betracht.

Die Chromsäureelemente bestehen aus Kohle und Zinkplatten, die in eine Lösung von doppelchromsaurem Kali eintauchen. Die Kohle bildet den positiven, das Zink den negativen Pol des Elementes. Bei Nichtbenutzung werden die Platten aus der Flüssigkeit herausgenommen. Eine dazu besonders bequeme Vorrichtung an einer Batterie von 20 Elementen, wie solche Max Kohl in Chemnitz liefert, zeigt Fig. 156.

Die Flüssigkeit zum Füllen der Batterie stellt man sich her, indem 70 g pulverisiertes saures chromsaures Kali allmählich in 80 ccm Schwefelsäure von 1,836 spezifischem Gewicht eingetragen und in einer Reibschale gut verrieben werden. Dieser Mischung wird 0,85 Liter Wasser vorsichtig in dünnem Strahl zugesetzt. Man erhält so 1 Liter Füllflüssigkeit. Sobald diese Lösung dunkelgrün geworden ist und nicht mehr wirkt, muß

sie, nachdem die Batterie gut gereinigt wurde, erneuert werden. Die Kohlen sind mit heißem Wasser abzuwaschen, die Zinke neu zu amalgamieren, die Kontakte blank zu machen. Bei einer solchen Batterie beträgt die Spannung pro Element anfänglich 2 Volt, jedoch sinkt sie bei Stromentnahme infolge eintretender Polarisation auf 1,6 Volt und darunter, so daß man nur auf eine mittlere Spannung von 1,5 Volt rechnen darf. Hieraus folgt die zum Betriebe des Induktors nötige Anzahl von Zellen. Die Größe der Zellen richtet sich nach der Stromstärke und Betriebsdauer des Induktors.

In jedem Falle ist eine solche Primärbatterie nur ein Notbehelf, sie ist jeder anderen Stromquelle im Punkte der Kosten, der Bequemlichkeit und Betriebssicherheit unterlegen und wird nur dann anzuwenden sein, wenn keine andere Elektrizitätsquelle zu haben ist.

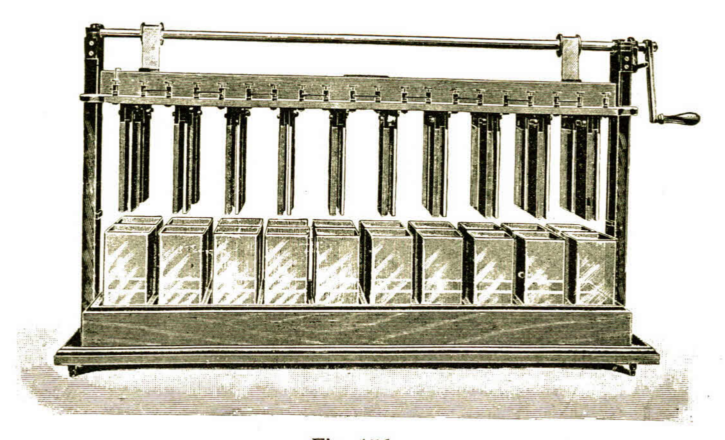


Fig. 156.

2. Akkumulatoren.

Die Akkumulatoren bilden eine bequeme und zuverlässige Stromquelle für den Betrieb von Funkeninduktoren. Da eine Akkumulatorenbatterie durch zu starke Beanspruchung leidet, so wird es zweckmäßig sein, die Batterie möglichst groß zu nehmen. Je größer die Platten des Akkumulators sind, um so größer ist die maximale Stromstärke, welche dem Akkumulator entnommen werden kann. Unter der Kapazität eines Akkumulators versteht man das Produkt aus der maximalen Entladungsstromstärke und der Dauer der Entladung. Diese von den Akkumulatorenfabriken angegebene maximale Entladungsstromstärke sollte nie überschritten werden, andernfalls fällt die aktive Masse aus den Platten leicht heraus und die Lebensdauer des Akkumulators wird sehr verkürzt. Für den Betrieb von Induktoren können die einzelnen Akkumulatoren, zu einer Batterie verbunden, in einem gemeinsamen Holz-

kasten untergebracht sein, der mit Traggriffen und Polklemmen versehen ist. Die Platten stehen in mit verdünnter Schwefelsäure (chemisch rein) vom spezifischen Gewicht 1,2 gefüllten Gläsern oder Gefäßen von Zelluloid. Letztere sind wegen ihrer größeren Haltbarkeit für transportable Batterieen vorzuziehen. Jede Zelle hat eine Spannung von etwa 2 Volt. Sinkt die Spannung bis auf 1,75 Volt, so muß mit der Entladung innegehalten, der Akkumulator neu geladen werden. Zur Kontrolle der vorhandenen Spannung ist daher ein Voltmeter (vergl. Fig. 157 und 158) unentbehrlich. Im Falle der längeren Nichtbenutzung muß die Batterie stets geladen aufbewahrt werden, verdunstetes Wasser ist durch destilliertes Wasser zu ersetzen, so daß die Platten stets ganz von der Flüssigkeit bedeckt sind.

In Fig. 159 ist eine Akkumulatorenbatterie von Ferd. Ernecke

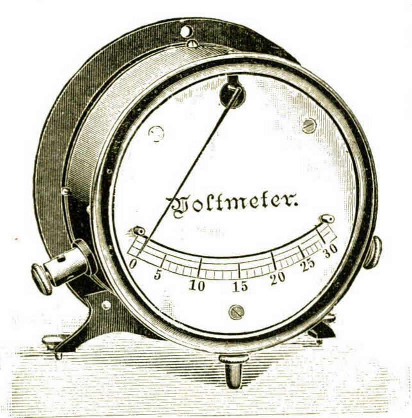


Fig. 157.



Fig. 158.

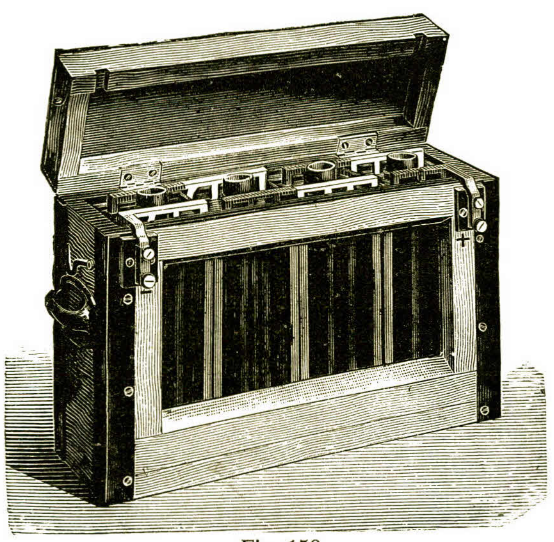


Fig. 159.

in Berlin abgebildet. Dieselbe enthält vier hintereinander geschaltete Zellen, besitzt also eine Klemmenspannung von ca. 8 Volt.

Das Laden einer Akkumulatorenbatterie erfolgt unter Benutzung eines Vorschaltwiderstandes am besten

a) von einer Gleichstrom-Anlage aus. Fig. 160 gibt eine schematische Darstellung der Schaltungsweise. Die Plus- und Minusklemmen der Akkumulatorenbatterie werden mit den gleichnamigen Polen des Leitungsnetzes verbunden und die Stromstärke unter allmählicher Ausschaltung von Widerstand erhöht, bis das in den Stromkreis eingeschaltete Ampèremeter

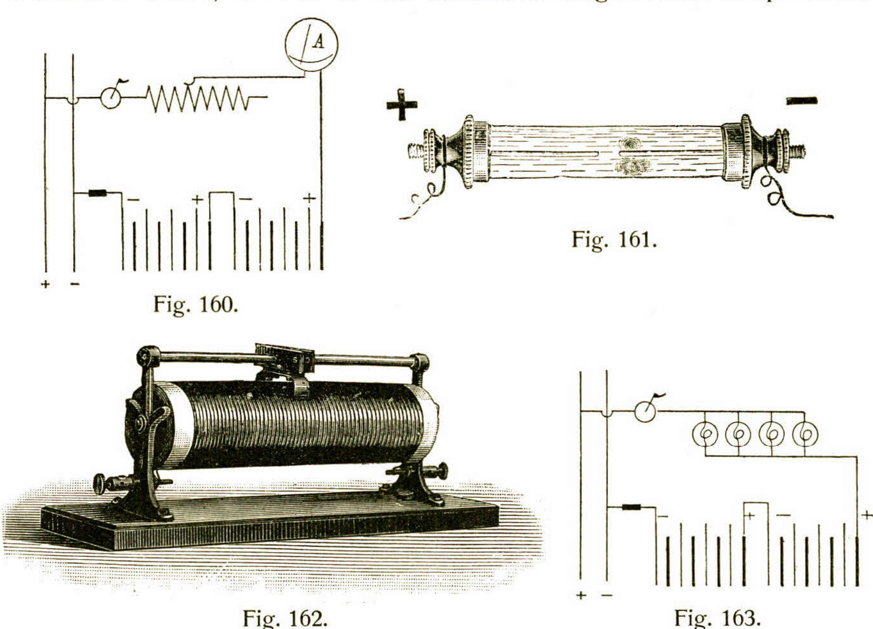


Fig. 160. Fig. 161. Fig. 162. Fig. 163.

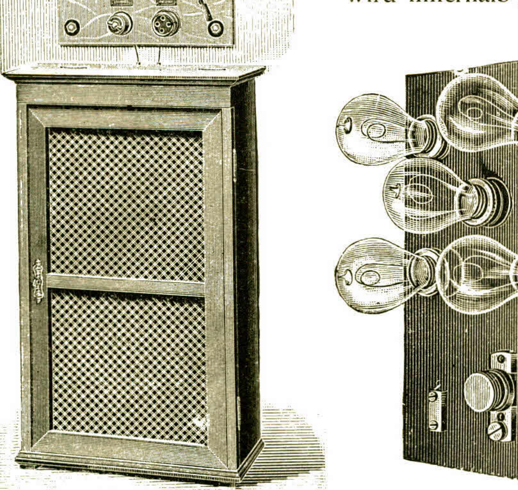
die von der Fabrik angegebene Ladestromstärke zeigt. Im allgemeinen ist es der Batterie dienlicher, wenn mit niedriger Stromstärke geladen wird, natürlich dauert dies dann länger. Weiß man nicht, welches der positive Pol der Speiseleitung ist, so kann man dies mit Polreagenzpapier leicht ermitteln: der negative Pol färbt das Papier rot. Den gleichen Zwecken dient der in Fig. 161 abgebildete, mit Flüssigkeit gefüllte Polfinder.

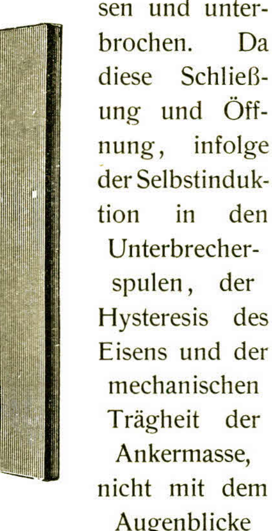
Die Ladung ist beendet, wenn in den Zellen eine lebhafte Gasentwicklung stattfindet und eine Spannung von 2,5 Volt in jeder Zelle erreicht ist.

An Stelle eines Reguliervorschaltwiderstandes (Fig. 162) und Ampèremeters kann man auch eine passende Anzahl Glühlampen benutzen (vergl. Fig. 163); dieselbe richtet sich nach der vorhandenen Netzspannung, der Anzahl der zu ladenden Akkumulatoren und ihrer normalen Ladestromstärke.

In Fig. 164 ist eine Schalttafel zum Laden von Akkumulatoren mit kombiniertem Volt- und Ampèremeter nach Ferdinand Ernecke in Berlin, und in Fig. 165 ein Lampenrheostat von Dr. Max Levy in Berlin abgebildet.

b) Auch mit Wechselstrom können Akkumulatoren geladen werden. Man bedient sich dazu eines der im vorigen Kapitel beschriebenen mechanischen oder Flüssigkeits-Gleichrichters. Auch der hierzu besonders konstruierte Gleichrichter von Koch in Chemnitz kann dazu benutzt werden. Derselbe besteht aus einem mechanischen Unterbrecher, der dem auf Seite 110 beschriebenen Kohlschen Wechselstrom-Unterbrecher ähnlich ist. Der polarisierte Anker schwingt bei geeigneter Gestaltung synchron zur Phase des Wechselstromes und der durch den Kontakt G geleitete Wechselstrom gleicher Phase wird innerhalb jeder Periode einmal geschlossen und unterbrochen. Da diese Schließung und Öffnung, infolge der Selbstinduktion in den Unterbrecherspulen, der Hysteresis des Eisens und der mechanischen Trägheit der Ankermasse, nicht mit dem Augenblicke zusammenfallen würden, in welchem die Wechselstromspannung durch ihren Nullwert geht, schaltet Koch in den Erregerweg, in Serie mit den Unterbrecherspulen, einen Kondensator, dessen Kapazität so gewählt ist, daß nicht allein die Selbstinduktion der Spulen unschädlich gemacht, sondern auch der Erregerstrom in seiner Phase der Hauptstromphase so viel vorauseilt, als die Hysteresis des Eisens und Trägheit der Ankermasse dies erfordert. Die Unterbrechungen erfolgen dann genau im Moment des Durchgangs des Hauptstromes durch seinen Nullwert und die Unter-


Fig. 164.


Fig. 165.

brechungsfunken verschwinden gänzlich. Der Apparat liefert somit einen pulsierenden Gleichstrom. Um diesen Gleichstrom zum Laden von Akkumulatoren zu benutzen, sind die Unterbrecherschenkel mit einer zweiten Bewicklung versehen, deren Enden an die Pole der zu ladenden Batterie so angeschlossen werden, daß die Spannung der Batterie der induzierenden Wirkung des Wechselstromimpulses in Laderichtung entgegenwirkt. Bei geeigneter Dimensionierung dieser sekundären Bewicklung wird erreicht, daß nur der Spannungsüberschuß des Wechselstromimpulses gegenüber der Batteriespannung kontaktschließend wirkt, wodurch eine vollkommen automatische Regulierung des Unterbrechers auf Batteriespannung und ein vollkommen funkenloser Kontakt für alle Betriebsspannungen erreicht wird. Die Schließungs- und Öffnungsmomente liegen genau in den Zeiten der Spannungsgleichheit von Batterie und Wechselstrom. Die Kapazität wurde relativ klein bemessen und die somit erzielte überschüssige Stromvoreile im Erreger durch eine Spule mit variabler Selbstinduktion auf das geeignete Maß zurückgeführt. Nähert sich die Klemmenspannung der Batterie der Wechselstrom-Mittelspannung, so werden die Schließungszeiten den Öffnungszeiten gegenüber sehr kurz und der Anker beginnt eine stark hinkende Bewegung auszuführen. Hiergegen fand sich ein Mittel in einer vor die ganze Einrichtung geschalteten Drosselspule mäßigen Potentials.

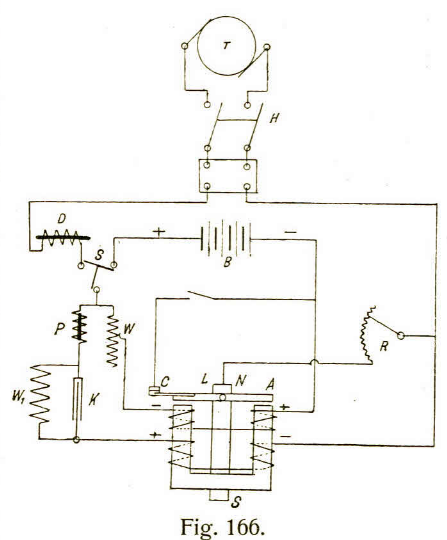


Fig. 166.

In Fig. 166 ist ein derartiger Kochscher Gleichrichter schematisch dargestellt. Von der Wechselstromquelle *T*, die durch den doppelpoligen Schalter *H* abgeschaltet werden kann, führt die eine Leitung durch die Hauptstromdrosselspule *D* nach dem Dreikontaktschalter *S*, der sie gleichzeitig an den positiven Pol der zu ladenden Batterie *B* und an die Unterbrecherbewicklung *W* anschließt. Gleichzeitig legt der Schalter *S* die sekundäre Schenkelbewicklung des Unterbrechers an die Klemmen der Batterie. Der andere Wechselstromleiter führt durch den Anlasser *R* zum Ankerlager *L*, von da durch den Anker *A* und Unterbrecherkontakt *C* zum negativen Pole der Batterie. Die sekundäre Schenkelbewicklung führt mit ihren Enden unter Vorschaltung des Widerstandes W_1 durch die variable Selbstinduktion *P* zu den Errregerspulen und zur Wechselstromquelle zurück.

Diese Apparate werden in zwei Typen hergestellt, von denen die eine in Schalttafelform für alle gebräuchlichen Wechselstrom-Spannungen bis zu 240 Volt für eine maximale Belastung von 15 Ampère verwendbar ist (vergl. Fig. 167). Der Wirkungsgrad ist ein recht guter und hängt in der Hauptsache von dem Spannungsverhältnis zwischen Wechselstrom und Batterie ab. Der günstigste Nutzeffekt wird erzielt, wenn die Wechselstromspannung 5 bis 10 % über der Maximal-Klemmenspannung der zu ladenden Batterie liegt.

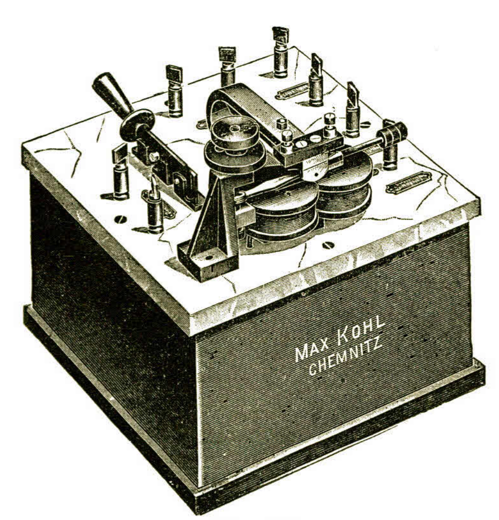
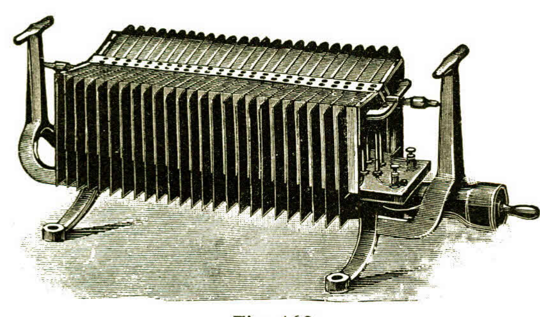


Fig. 167.


Fig. 168.

Die Flüssigkeits-Gleichrichter, die auf Seite 113 u. 114 bereits behandelt wurden, sind zum Laden der Akkumulatoren bei Wechselstrom sehr wohl verwendbar, haben aber nur einen geringen Nutzeffekt. Die Quecksilberstrahl-Unterbrecher für Wechselstrom (vergl. Seite 112), die rotierenden Umformer (vergl. Seite 127) und eine eigene Kraftanlage kommen zur Ladung von Akkumulatoren, die zur Speisung von Funkeninduktoren verwendet werden sollen, kaum in Betracht, da ja deren direkter Betrieb einfacher und ökonomischer sein würde.

c) Wenn die Gelegenheit zum Laden der Akkumulatoren an einer Gleich- oder Wechselstromquelle fehlt, so kann man sich zu diesem Zweck einer Thermosäule bedienen. Diese basiert auf der Tatsache, daß an der Lötstelle zweier verschiedener Metalle ein elektrischer Strom entsteht, sobald die Lötstelle erwärmt wird. Durch die gleichzeitige Erwärmung einer größeren Anzahl solcher Lötstellen kann man eine zum Laden von Akkumulatoren passende Stromspannung und Stärke erhalten.

Die Guelchersche Thermosäule (Fig. 168) besteht aus 66 Elementen und entwickelt eine nutzbare Klemmenspannung von 4 Volt, bei einer Strom-

stärke von 2 Ampère. Die Heizung erfolgt mit Gas, und da ein Verbrauch von stündlich 170 Litern stattfindet, stellen sich die Betriebskosten auf etwa $2^1/_2$ Pfg. pro 8 Wattstunden, was zwar zwanzigmal so teuer als bei Kraftanschluß an eine Centrale, aber immerhin viel billiger als Batteriestrom ist. Die Verbrennung des Gases ist eine so vollkommene wie bei einem Bunsenbrenner, so

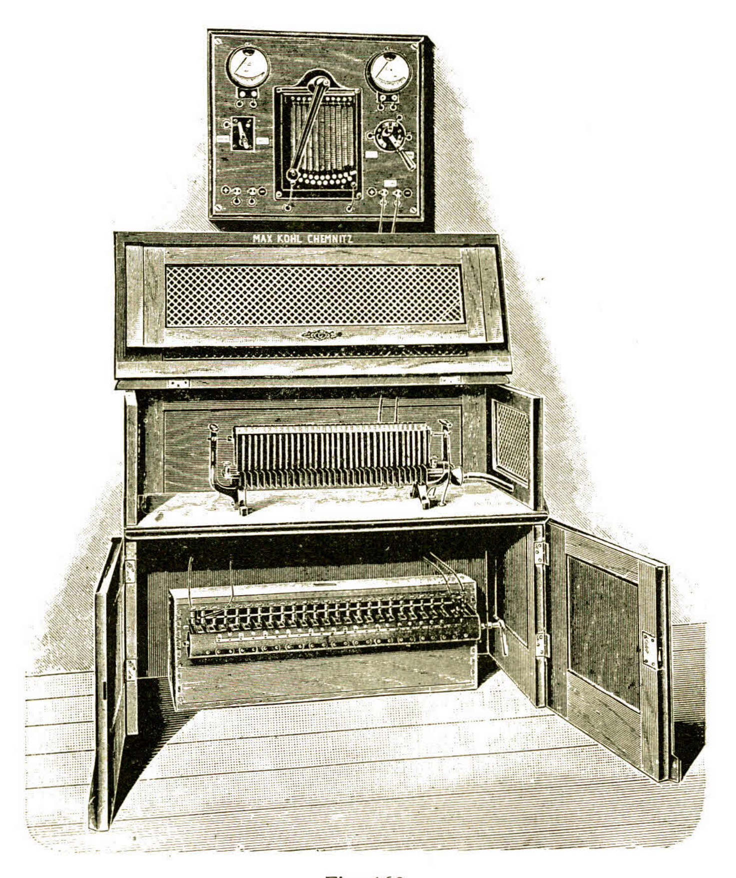


Fig. 169.

daß also keinerlei übler Geruch, Rauch oder Ruß mit in den Kauf genommen werden muß. Beim Laden werden die einzelnen Akkumulatoren natürlich alle parallel geschaltet und ist dazu ein Pachytrop recht nützlich, der so eingerichtet sein kann, daß, wenn die Walze auf Parallelschaltung der Akkumulatoren steht, die Thermosäule eingeschaltet ist, letztere aber ausgeschaltet wird, sobald die Pachytropwalze die Akkumulatoren hintereinander schaltet. Die Ladung geht nur sehr langsam von statten, da jedoch die Thermosäule keinerlei Auf-

sicht und Wartung erfordert, kann das Laden Tag und Nacht ununterbrochen fortgesetzt werden. Man rechnet auf 1 Thermosäule etwa 8 Akkumulatoren.

Figur 169 stellt einen Schrank dar, in welchem eine Thermosäule, eine Akkumulatorenbatterie nebst Pachytrop untergebracht sind. Derselbe wird von Max Kohl in Chemnitz gefertigt und ist recht empfehlenswert.

3. Gleichstromcentrale.

Der Anschluß an eine Gleichstromcentrale bis zu 550 Volt ist am vorteilhaftesten und, wenn irgend möglich, zu erstreben. Dieser Strom bietet

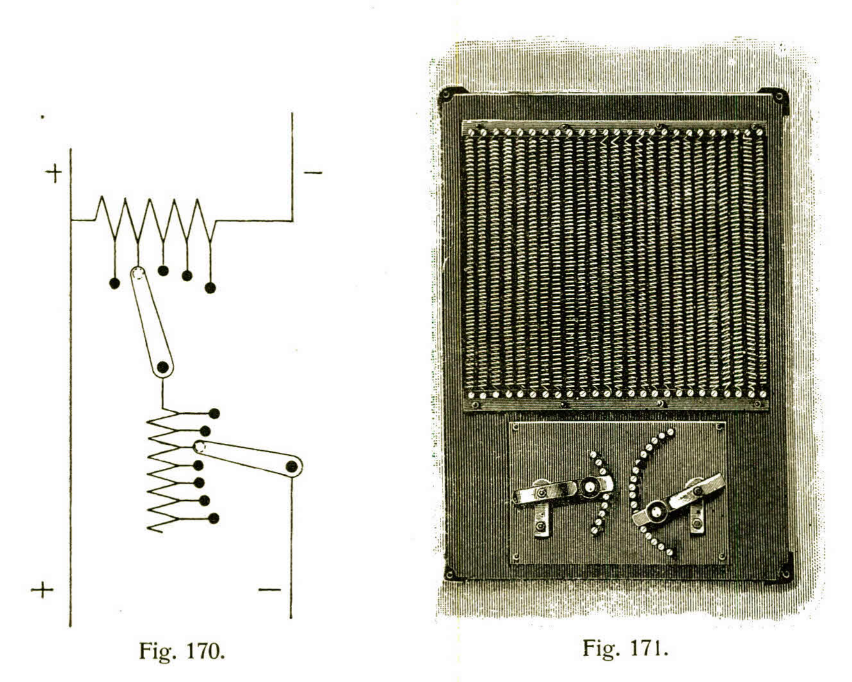


Fig. 170. Fig. 171.

gegen alle anderen Stromquellen die größte Bequemlichkeit, Gleichmäßigkeit und Billigkeit. Um die Spannung auf das zum Betriebe des Induktors erforderliche Maß herabzusetzen, wendet man Regulierwiderstände oder rotierende Umformer an. Letztere bestehen aus einem Elektromotor für hohe Betriebsspannung und einer damit gekuppelten, niedrigvoltigen Dynamo und sind natürlich bedeutend ökonomischer als die Widerstände, dafür aber höher in den Anschaffungskosten. Da es neuerdings mit den Quecksilberstrahl- und Flüssigkeits-Unterbrechern möglich geworden ist, die Induktoren mit Strömen von 110 bis 220 Volt Spannung zu speisen, so können wir von den Umformern absehen und uns auf den am häufigsten vorkommenden Fall beschränken.

Sehr verbreitet ist der Nebenschluß-Widerstand (Fig. 170). Der Starkstrom ist durch einen genügend großen Widerstand geschlossen, im Nebenschlußkreise ist außerdem ein zweiter regulierbarer Widerstand eingeschaltet, um innerhalb der abgenommenen Spannungsgrenzen noch eine feinere Stromstärkeabstufung erzielen zu können. Ein solcher Abzweigwiderstand von Ferdinand Ernecke in Berlin ist in Fig. 171 dargestellt. Derselbe ist mit zwei Kurbeln versehen und gestattet damit, die Spannung der Centrale derart herabzusetzen oder abzuzweigen, daß für die Induktorzuleitung 40 bis 5 Volt übrig bleiben. Dies geschieht mit der rechtsliegenden Kurbel, durch die linke können gleichzeitig die Stromstärken von etwa 15 Ampère bis auf 4 Ampère verändert werden. Es eignen sich diese Abzweigwiderstände hauptsächlich für die Benutzung von Platin- und Quecksilber-Unterbrechern, wenn diese durch den Strom einer Centrale betrieben werden sollen. Bei den Netzen mit 200 Volt Spannung und mehr müssen derartige Abzweigwiderstände auch bei Benutzung eines Wehnelt-Unterbrechers angewendet werden.

In einigen Fällen, wo es darauf ankommt, dem Induktor sehr große Energiemengen zuzuführen (Telegraphie ohne Draht, Teslaexperimente etc.), kann es empfehlenswert sein, Netzgleichstrom vorher in Wechselstrom umzuformen, um mit letzterem dann den Induktor zu speisen.

Man kann dazu einen Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer anwenden, bestehend aus einem Gleichstrommotor, auf dessen Achse sich außer dem Kollektor zwei Schleifringe befinden, die mit zwei diametral gegenüberliegenden Punkten der Ankerwicklung in Verbindung stehen und von denen der Wechselstrom abgenommen wird.

Bei dem Grisson-Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin wird der gleiche Zweck auf andere Weise erreicht. Fig. 172 zeigt eine schematische Darstellung dieses Umformers. Die Primärwicklung des Induktors P hat außer ihren beiden Endklemmen P_1 und P_2 noch eine dritte Klemme P_3, welche mit der Spulenmitte in Verbindung steht. Zunächst gelange nun der Gleichstrom in den Kreis P_1 P_3 und bleibe so lange geschlossen, bis darin ein bestimmtes Strommaximum erreicht ist. Dann wird außerdem noch der Strom P_2 P_3 geschlossen. Da beide Spulen in entgegengesetztem Sinne gewickelt erscheinen, beide aber einen gemeinsamen Eisenkern haben, so wird letzterer in entgegengesetztem Sinne magnetisiert und durch die Stromschließung P_2 P_3 im ersten Stromkreise eine elektromotorische Kraft erzeugt, die dem Strom in P_1 P_2 entgegengesetzt gerichtet ist und angenähert zu Null werden läßt. In diesem Moment wird der Stromkreis P_1 P_3 unterbrochen, worauf der Strom in P_2 P_3 schnell zum Maximalwert ansteigt.

Um diese abwechselnden Schaltungen in beiden Stromkreisen zu bewirken, ist eine Kontaktvorrichtung in Form eines doppelten Dynamokollektors vorhanden. Sie besteht aus zwei gegeneinander versetzten Kontakträdern U_1 U_2, die voneinander isoliert auf einer gemeinschaftlichen Welle angebracht sind, einerseits kontinuierliche Stromzuführungen B_1 B_2, andererseits eine gemein-

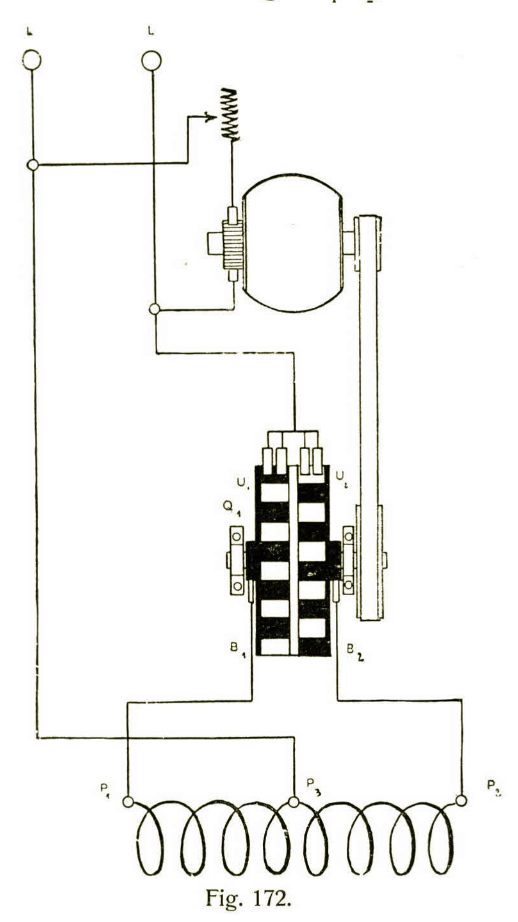


Fig. 172.

same Schleifbürste B_3 besitzen, die abwechselnd auf den Lamellen U_1 U_2 schleift oder zeitweise beide miteinander verbindet. Eine Funkenbildung am Kollektor ist ausgeschlossen, da ja der Gleichstrom nie unterbrochen wird. Dieser Umformer liefert nicht etwa pulsierenden Gleichstrom, sondern Wechselstrom, dessen Amplitude zwischen weiten Grenzen verändert werden kann. Der Antrieb erfolgt durch einen kleinen Motor, und kann durch dessen Umdrehungsgeschwindigkeit die Periodenzahl von 15 bis 100 in der Sekunde variiert werden.

Mit Hilfe dieses Umformers ist es möglich, ganz bedeutende Stromstärken dem Induktorium zuzuführen und wird jeder normale Induktor durch Anbringung der Klemmenverbindung P_3 für diesen Umformer verwendbar.

Auf viel einfachere Weise hat Verfasser dieses, das gleiche Ziel erreicht. Er benutzte einen Motor-Quecksilber-Unterbrecher mit Doppelwechselkontakt und einen Induktor mit zwei primären, im entgegengesetzten Sinne geschalteten Wicklungen. Stellt man die Quecksilbergefäße des Unterbrechers (vergl. S. 81) so ein, daß der eine Kontaktstift bereits in das Quecksilber eintaucht, ehe der andere Stift es verlassen hat, und reguliert die Tiefe des Eintauchens passend, so kann man leicht erreichen, daß die Stromöffnung in beiden Stromkreisen im Momente einer sehr geringen Stromstärke erfolgt, was an den minimalen Öffnungsfunken zu erkennen ist. Der in der sekundären Spule des Induktors alsdann induzierte Strom hat den Charakter eines Wechselstromes.

4. Wechselstrom- oder Drehstromcentrale.

Der Anschluß an eine Wechselstrom- oder Drehstromcentrale ist in den meisten Fällen demjenigen an eine Gleichstromcentrale gleichwertig. Nicht nur, daß man den Induktor direkt mit Wechselstrom speisen und ihm so eine bedeutende Energie zuführen kann, wie wir solches im vorigen Abschnitt gesehen haben, so kann man auch den Wechselstrom in Verbindung mit einem Unterbrecher, z. B. dem Loch-Unterbrecher (vergl. S. 104 bis 108 und S. 113), zum Betriebe eines Induktors mit Vorteil benutzen.

In allen diesen Fällen erhält man natürlich auch in der sekundären Spule des Induktors einen Wechselstrom.

Für spezielle Zwecke, z. B. für Röntgenröhren, ist das unerwünscht, und man wird sich alsdann eines Umformers bedienen müssen. Dieser besteht aus einem Wechselstrom- oder Drehstrommotor, der mit einer Gleichstromdynamo gekuppelt ist. Zur Inbetriebsetzung des Wechselstrommotors ist ein Anlaßwiderstand erforderlich, der Drehstrommotor bedarf eines solchen nicht. Zur Regulierung der Leistung der Dynamo dient ein Nebenschlußwiderstand. In Fig. 173 ist ein derartiger rotierender Umformer von Siemens & Halske in Berlin abgebildet. Sein Betrieb erfordert keinerlei Wartung, und ist der Nutzeffekt ein sehr hoher. Man kann auch Motor und Dynamo in eine Maschine vereinigen, doch geschieht das verhältnismäßig selten.

Eine zweite Möglichkeit, den im Netz vorhandenen Wechsel- oder Drehstrom in Gleichstrom zu verwandeln, liegt in der Anwendung der bereits beschriebenen Wechselstrom-Unterbrecher in Verbindung mit Gleichrichtern (vergl. S. 113); von ersteren sind die Flüssigkeits-Unterbrecher in diesem Falle die einfachsten.

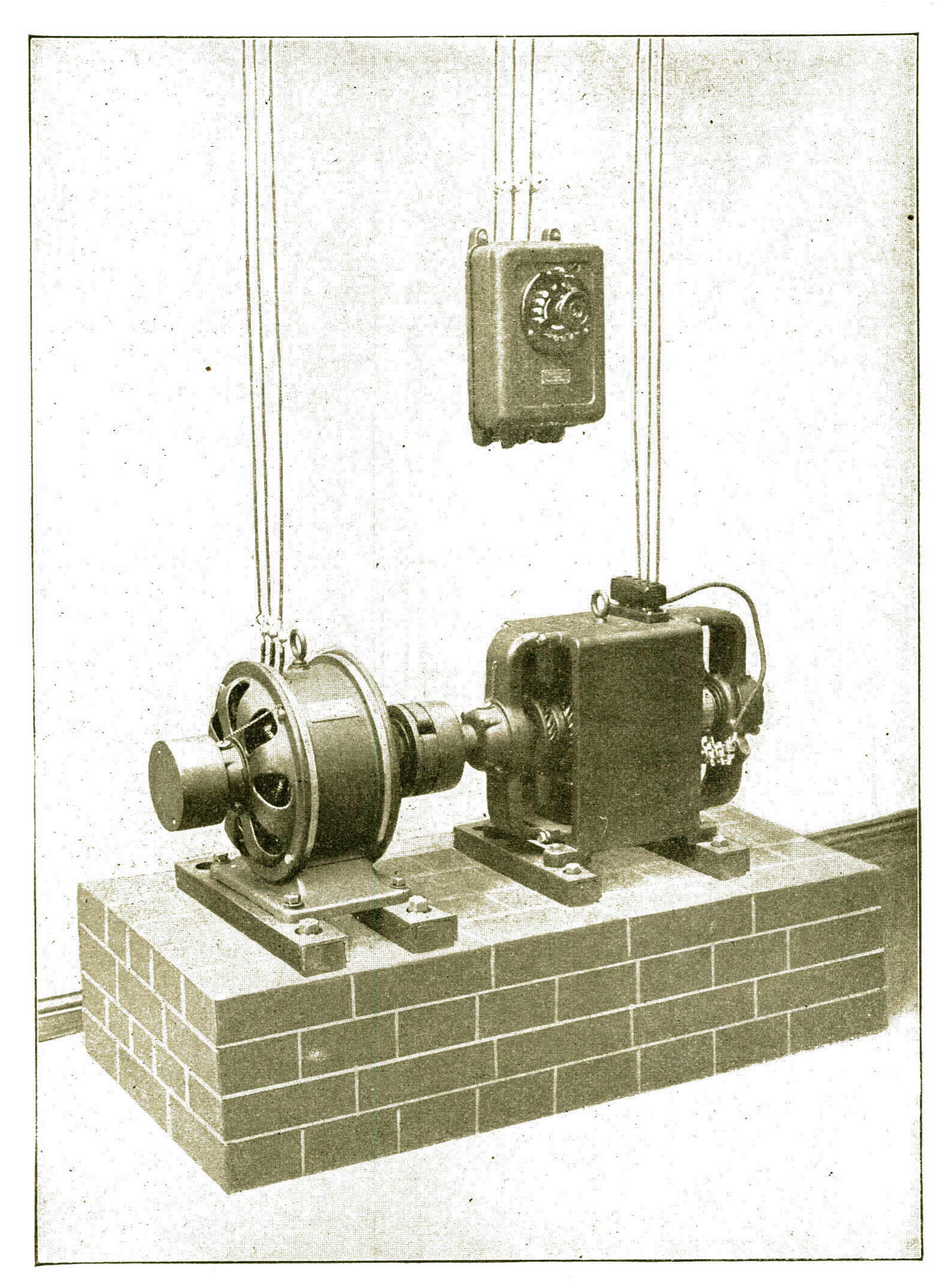


Fig. 173.

5. Besondere Kraftanlage.

Wo kein Netzanschluß und keine Gelegenheit zum Laden von Akkumulatoren vorhanden ist und die relativ höheren Anschaffungskosten nicht hinderlich sind, empfiehlt sich die Aufstellung einer besonderen Kraftanlage, sei es in Verbindung mit einer schon vorhandenen Kraftquelle oder mittels besonderen Gas-, Benzin-, Spiritus- oder Petroleummotors. Nach-

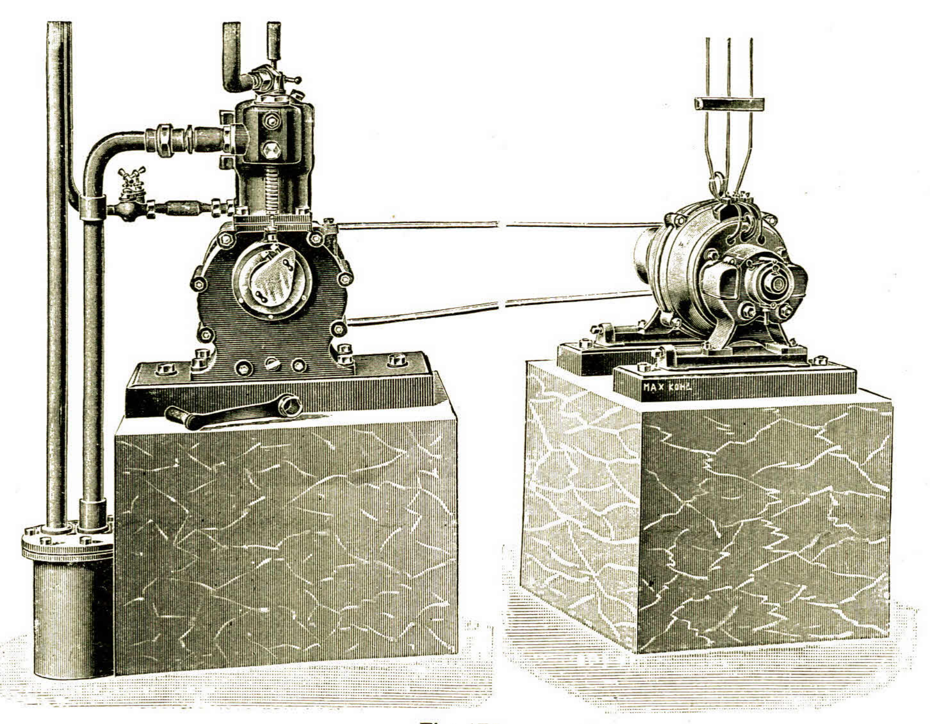


Fig. 174.

dem sich durch die Automobilindustrie die Explosionsmotoren konstruktiv sehr entwickelt haben und die Preise solcher Motoren sich verhältnismäßig niedrig stellen, ist ihre Anwendung in den vorhin erwähnten Fällen wohl in Erwägung zu ziehen. Fig. 174 zeigt eine derartige Anlage mit einem 1 Pferdekraft-Benzinmotor mit elektrischer Zündung, wie er von Max Kohl in Chemnitz geliefert wird. Der Betrieb der Dynamomaschine, welche eine Spannung von 65 Volt entwickelt, erfolgt durch Riemenbetrieb.

Siebentes Kapitel.

Nebenapparate.

Außer der Stromquelle, dem Unterbrecher und dem Induktor sind zur Vervollkommnung eines Instrumentariums noch einige Nebenapparate erforderlich, auf die wir im folgenden kurz eingehen wollen.

Zunächst sind Meßapparate für die Kontrolle der elektrischen Energie nach Spannung (Volt) und Stromstärke (Ampère) erforderlich.

1. Der Spannungsmesser (Voltmeter) ist nur beim Batteriebetriebe (vergl. S. 118) und bei Umformern erforderlich; beim Anschluß an das Leitungsnetz einer Centrale, deren Betriebsspannung bekannt und ziemlich konstant ist, kann er entbehrt werden.

2. Der Stromstärkemesser (Ampèremeter) zeigt den jeweiligen Stromverbrauch an und bietet gleichzeitig eine Kontrolle für die Beanspruchung des Induktors, er sollte daher nirgends fehlen.

Die Fig. 175 und 176 zeigen zwei derartige Instrumente; Fig. 175 von Ferd. Ernecke in Berlin in Standform und Fig. 176 von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin in Schalttafelform.

Fig. 175.

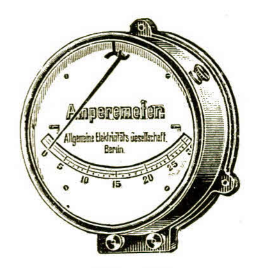


Fig. 176.

3. Die Regulierwiderstände dienen zur Regelung des Stromzuflusses. Es kommen davon im allgemeinen zwei zur Anwendung, der eine zur Regulierung der Geschwindigkeit des Motors vom Unterbrecher, der andere zur Regulierung des Speisestromes.

In Fig. 177 ist ein Gleitwiderstand der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin abgebildet, wie er sich zur Regulierung der Tourenzahl des zum Betriebe des Motor-Quecksilber- oder Turbinen-Unterbrechers dienenden Motors eignet.

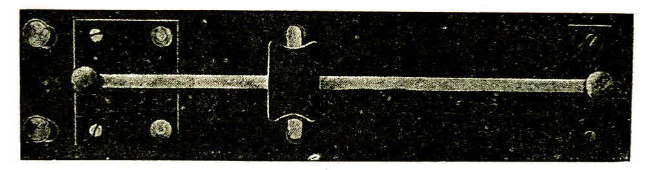


Fig. 177.

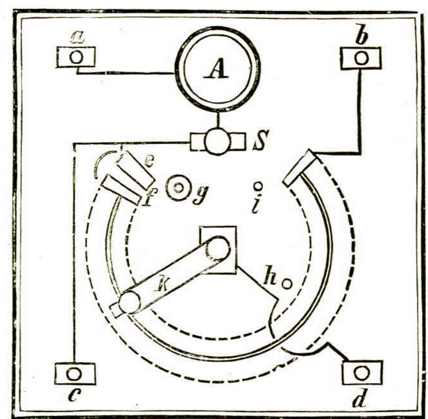


Fig. 178.

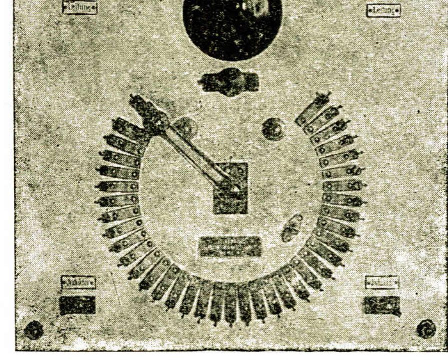


Fig. 179.

Fig. 178 und 179 stellen einen Speisestrom-Regulator derselben Firma dar, der für alle Spannungen zwischen 16 und 220 Volt ausreicht. Dieser Widerstand enthält insgesamt 40 Ohm, die sich auf 37 Kontakten, durch Drehen einer Kurbel von links nach rechts, bis auf 0 Ohm abstufen lassen. An der linken Seite ist ein fester Anschlag *g* angebracht, der das Abgleiten der Kurbel von den Kontakten verhindern soll, an der rechten Seite dagegen befinden sich zwei mit Gewinde versehene Metallplatten, in welche Anschlagbolzen (*h* und *i*) eingeschraubt werden können. Beim Betriebe mit Spannungen von 110 bis 220 Volt soll sich der Anschlagstift stets in der Metallplatte *h* befinden, so daß für die Kurbel nur der Weg von *g* bis *h*

übrig bleibt. Der zwischen *h* und *i* liegende Widerstand kann dann nicht ausgeschaltet werden und dient als Sicherheit für etwa eintretenden Kurzschluß. Bei niedrigen Spannungen und Akkumulatorenbetrieb (16 bis 40 Volt) ist der Anschlagstift in *i* einzusetzen, so daß die Kurbel nun über den ganzen Kontaktkranz bewegt werden kann.

Die Stromzuleitung ist mit den Klemmen *a* und *b*, die Leitung zum Induktor mit den Klemmen *c* und *d* zu verbinden. Durch den Dosenausschalter *A* wird der Strom eingeschaltet oder unterbrochen. Die Sicherung *S* schützt den Widerstand und die angeschlossenen Apparate vor Überlastung (15 Ampère). Um auch bei einer Lichtanlage von 110 Volt Spannung den Induktor mit niedrigerer Spannung betreiben zu können, werden die beiden ersten Kontaktplatten *e* und *f* mit einer (abnehmbaren) Brücke verbunden, es wird dadurch ein Nebenschluß hergestellt, von dem sich durch Bewegung der Kurbel ein Strom von beliebig geringerer Spannung für den Unterbrecher abzweigen läßt (vergl. S. 125).

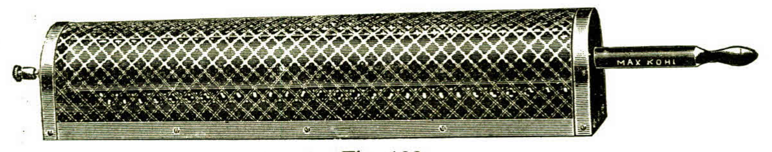


Fig. 180.

Man wird also den Widerstand so lange ohne die Brückenverbindung benutzen, als die Herabsetzung der Spannung nicht dringend erforderlich ist. Macht sich dies durch zu starkes Feuern am Unterbrecher bemerkbar, so wird man die Brücke einsetzen. Bei Akkumulatorenbetrieb soll die Brücke nie eingesetzt werden. Der Widerstand ist in aufrechter Stellung anzubringen, damit die Widerstandsspulen durch den Luftzutritt gut gekühlt werden.

Wie bereits bei den Unterbrechern angeführt wurde, können die Induktoren bei Anwendung von Quecksilberstrahl- und Flüssigkeits-Unterbrechern direkt vom Leitungsnetz gespeist werden und ist in diesen Fällen ein Abzweigwiderstand nur in den seltensten Fällen erforderlich. Der Loch-Unterbrecher kann selbst bei 220 Volt Netzspannung direkt an das Netz angeschlossen werden, beim Wehnelt-Unterbrecher, zumal bei kleineren Induktoren (bis zu 50 cm Schlagweite), ist dies nicht mehr angängig.

4. Für diesen Fall baut Max Kohl in Chemnitz die in Fig. 180 abgebildete Drosselspule, welche vor den Induktor geschaltet wird. Die Spule ist aus besponnenem Kupferdraht um einen unterteilten Eisenkern gewickelt und befindet sich in einem gefälligen, aus perforiertem Blech hergestellten

Gehäuse. Die beiden Enden der Wicklung sind zu zwei auf der einen Stirnseite des Gehäuses angebrachten Klemmen geführt, an welche die Stromleitungsdrähte angeschlossen werden. Der Eisenkern ist in ein Hartgummirohr eingeschlossen und herausziehbar, wodurch die Selbstinduktion verändert werden kann.

Aber auch mit niederen Spannungen, zumal wenn das Induktorium nicht speziell für den Betrieb mittels Wehnelt-Unterbrechers eingerichtet worden ist, empfiehlt sich oft die Einschaltung einer Spule mit Selbst-



Fig. 181.

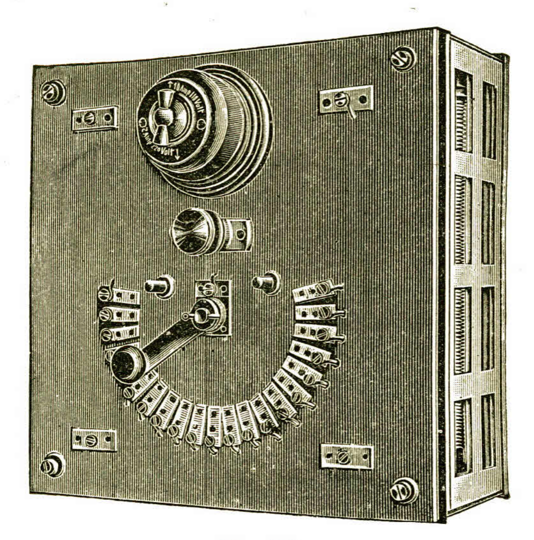


Fig. 182.

induktion. Der Regulierwiderstand wird für diese Fälle in der Art ausgeführt, daß ein Teil desselben stark induktiv ausgebildet ist. Derartige Regulierwiderstände werden von Ferdinand Ernecke (Fig. 181) und Dr. Max Levy (Fig. 182) in Berlin hergestellt.

5. Eine große Übersichtlichkeit und bequeme Handhabung gewähren Schalttafeln, welche alle diejenigen Hilfsapparate, die zum Betriebe, zur Regulierung und Sicherung des Stromes für den Induktor nötig sind, enthalten. Dieselben werden bei stationären Einrichtungen als Wandtableau ausgebildet, bei transportablen aber am besten horizontal eingebaut und enthalten, neben dem Widerstande für den Unterbrechermotor und demjenigen für den Speisestrom des Induktors, die Ausschalter, Sicherungen,

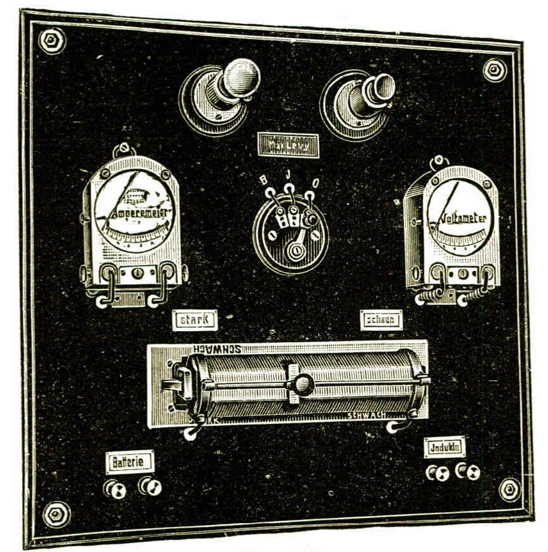


Fig. 183.

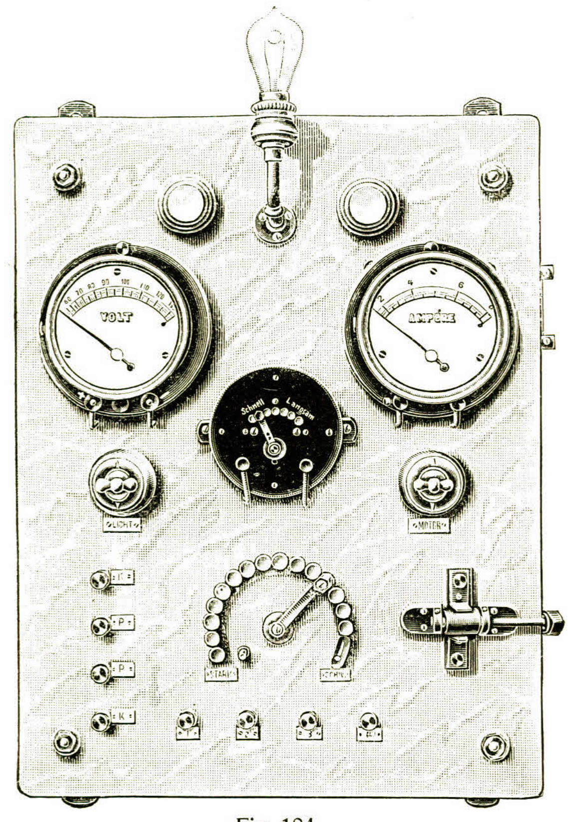


Fig. 184.

Stromwender, das Volt- und Ampèremeter und die nötigen Verbindungsklemmen für die Leitungen zum Unterbrecher und Induktor. Diese Schalttafeln werden sowohl für Akkumulatorenbetrieb, als auch für den Anschluß an das Leitungsnetz einer elektrischen Centrale hergestellt.

Fig. 183 zeigt eine derartige Schalttafel für Batteriebetrieb mit Platin-Unterbrecher, Doppelwippe oder Motor-Quecksilber-Unterbrecher, wie sie Dr. Max Levy in Berlin liefert, und Fig. 184 eine Schalttafel von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen für Anschluß an eine Gleichstromcentrale. In Fig. 185 ist eine Schalttafel für Betrieb mittels Akkumulatoren und in Fig. 186 eine solche für Netzanschluß, beide Formen von Max Kohl in Chemnitz, abgebildet.

Sehr elegant ist die Universalschalttafel der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin ausgeführt. Dieselbe kann sowohl für den Anschluß an ein Leitungsnetz mit 110 oder 220 Volt

Spannung, für Gleichstrom oder Wechselstrom als auch für niedrigere Spannungen bei Akkumulatorenbetrieb benutzt werden. Aus Marmor auf Eisenrahmen hergestellt, besitzt diese Schalttafel Voltmeter und Ampèremeter, einen Widerstand für den Induktor zur Regulierung der Stromstärke und einen Widerstand für den Motor-Unterbrecher zur Veränderung der Tourenzahl, ferner einen Stromwender, Ausschalter für alle Stromkreise und doppelseitige Anschlußklemmen, so daß zwei Apparate zu gleicher Zeit in Betrieb gesetzt werden können. Diese Schalttafel ist in Fig. 187 abgebildet.

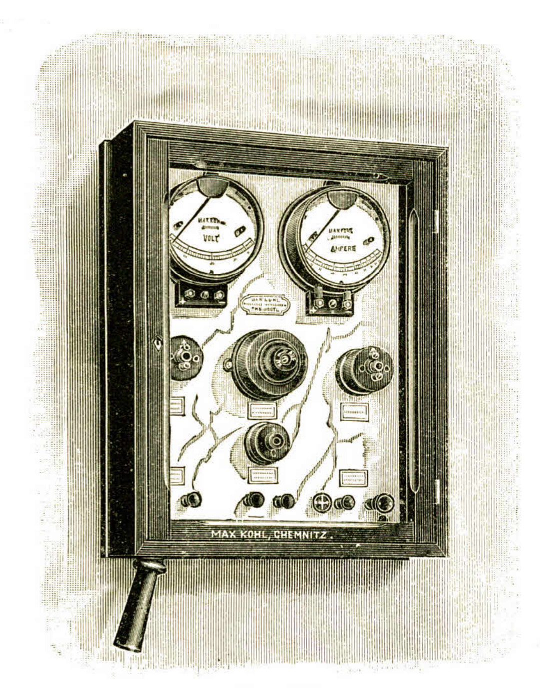


Fig. 185.

Eine vereinfachte Form der Schalttafel für Wechselstrom von der gleichen Firma stellt Fig. 188 dar. Sie ist schmal gebaut, um in einen Schrank eingebaut werden zu können, doch kann sie auch ohne solchen angewandt werden. Der Widerstand für den Unterbrecher ist hier als überflüssig fortgelassen, die Einrichtung aber sonst so getroffen, daß die sämtlichen Apparate einschließlich Stromwender auf der Tafel vereinigt sind.

Noch bequemer ist der in Fig. 189 abgebildete Schalttafelschrank von Dr. Max Levy in Berlin, denn er enthält außer allen Nebenapparaten

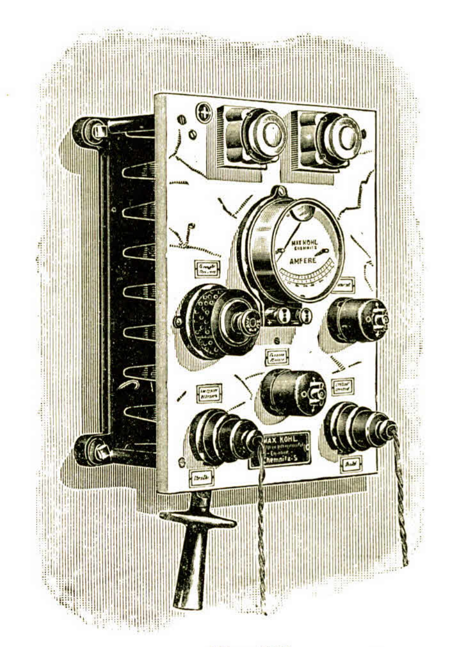


Fig. 186.

auch noch einen Quecksilberstrahl-Unterbrecher nebst Motor. Es können von hier aus alle Manipulationen vorgenommen werden, so daß man bei der Einschaltung oder Regulierung gar nicht in die Nähe des Induktors kommt. Auch für Beleuchtung der Schalttafel ist gesorgt.

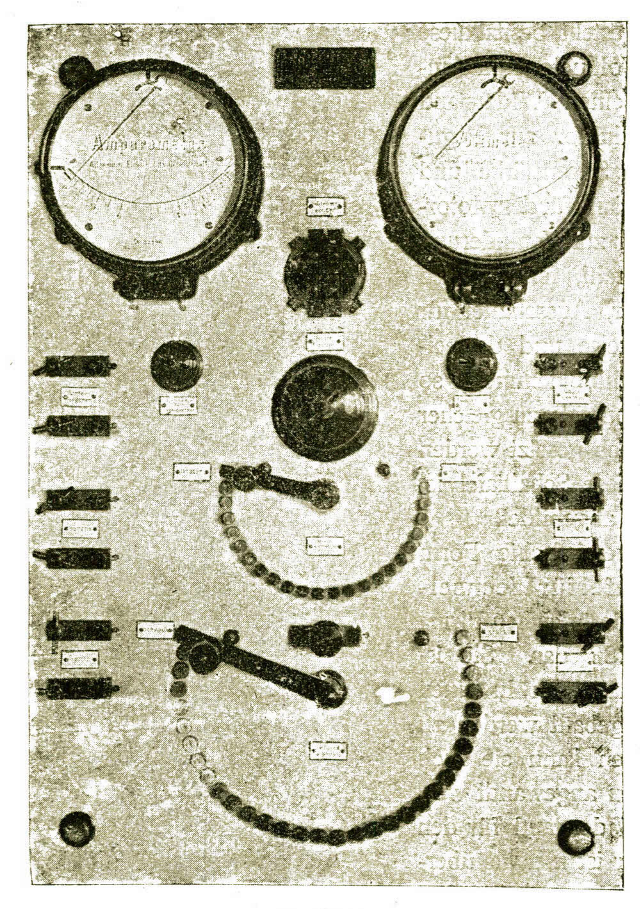


Fig. 187.

Die Schalttafeln für Flüssigkeits-Unterbrecher zeichnen sich vor den bisher beschriebenen durch größere Einfachheit aus. Die in Fig. 190 dargestellte Schalttafel von Max Kohl in Chemnitz trägt auf der Marmorplatte einen zweipoligen Ausschalter, eine zweipolige Bleisicherung mit Stöpseln für 30 Ampère, ein Gleichstrom-Ampèremeter bis 40 Ampère, eine Stöpseldose mit 2,5 m Doppelleitungskabel und einen hinter der Marmortafel liegenden Stromregulator.

Ferdinand Ernecke in Berlin baut für Induktoren mit Wehnelt-Unterbrecher die in Fig. 191 gezeichnete Schalttafel für Gleich- oder Wechselströme bis 110 Volt. Es sind zwei Bleisicherungen, ein Hitzdraht-Ampèremeter bis 20 Ampère, ein Voltmeter bis 120 Volt, Voltmeterausschalter,

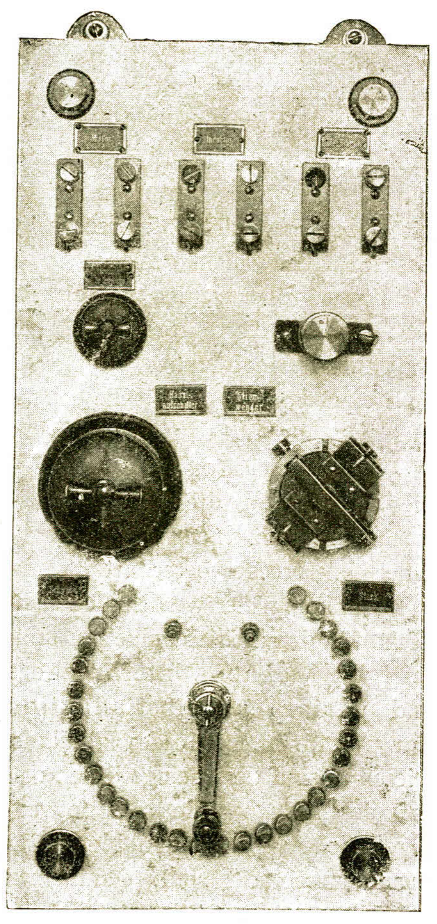


Fig. 188.

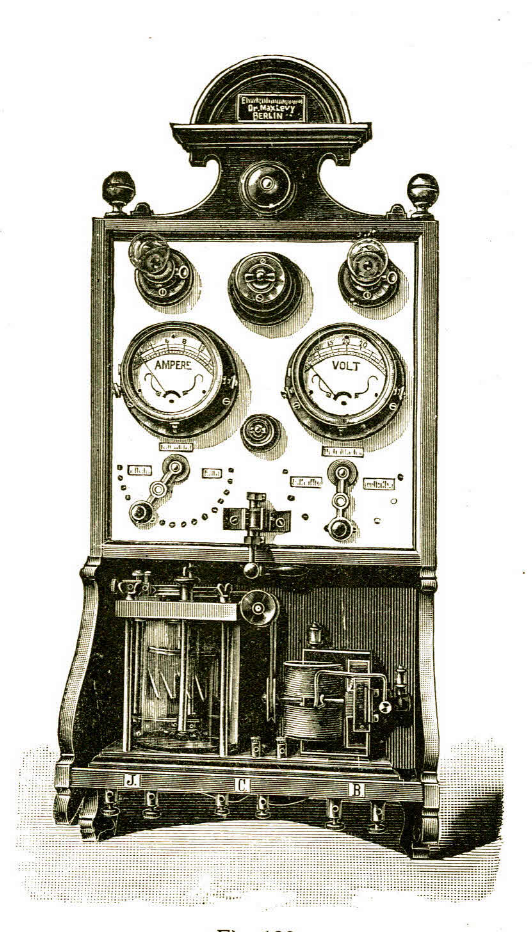


Fig. 189.

Stromabnahmestöpsel mit Schnur sowie der bereits vorher beschriebene, untenstehende induktive Regulierwiderstand vorhanden.

In Fig. 192 ist eine große Schalttafel derselben Firma dargestellt, die neben dem Betrieb mittels Flüssigkeits-Unterbrechers auch für den Betrieb mittels Platin- oder Quecksilber-Unterbrechers beim Anschluß an eine Lichtleitung von 110 Volt geeignet ist. Dieselbe enthält einen Abzweigwiderstand,

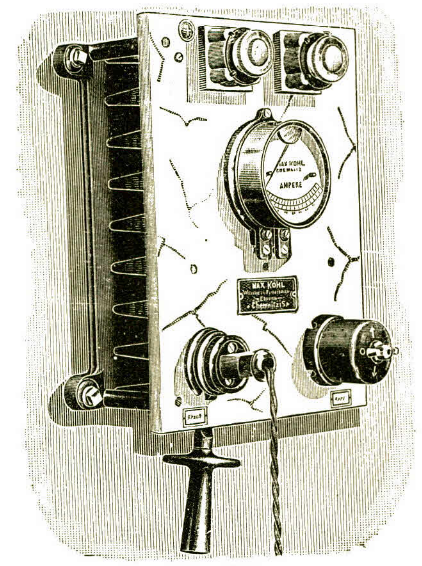


Fig. 190.

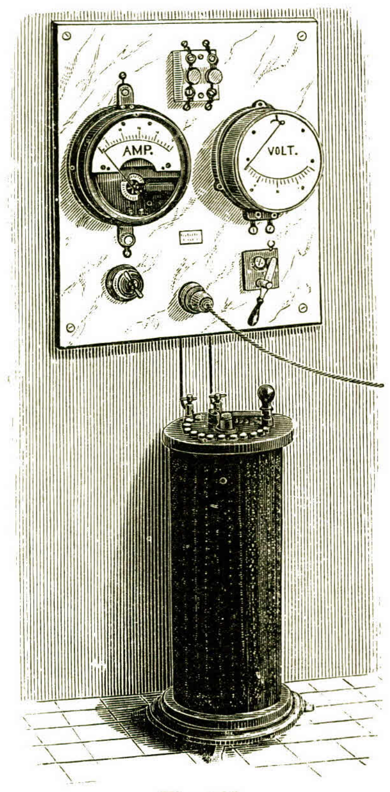


Fig. 191.

Ampèremeter, Voltmeter für Hauptstrom und Abzweigung, Voltmeterausschalter, Bleisicherung, Glühlampe, Ausschalter für den Hauptstrom und für die Glühlampe, Stromabnehmer für den Induktor mit Wehnelt-Unterbrecher, Stromabnehmer für den zweiten Induktor mit anderem Unterbrecher und Ausschalter für den Stromkreis des Wehnelt-Unterbrechers. Für den Betrieb eines Induktors mit Quecksilberstrahl-Unterbrecher ist diese Schalttafel nicht geeignet.

Etwas größer werden die Schalttafeln für den mehrteiligen Wehnelt-Unterbrecher. Fig. 193 stellt eine derartige Kohlsche Schalttafel dar, die für den Anschluß an 110 Volt Gleichstrom und den Betrieb mit einem dreiteiligen Unterbrecher und mit einem Motor-Quecksilber-Unterbrecher berechnet ist.

Sehr kompliziert werden die Schalttafeln für den Betrieb mittels mehrteiligen Wehnelt-Unterbrechers und variabler Selbstinduktion der primären Spule des Induktors. Dieselben sind derart eingerichtet, daß auf der Marmorplatte alle notwendigen Schaltapparate und Meßinstrumente angebracht sind, damit man von dieser einen Stelle aus alle diejenigen Schaltungen herstellen kann, die bei dem mehrteiligen Wehnelt-Unterbrecher und den verschiedenen Abteilungen der Primärspule vorkommen.

Bei dieser Art Schalttafeln von Siemens & Halske in Berlin (Fig. 194) sind drei Kombinationen

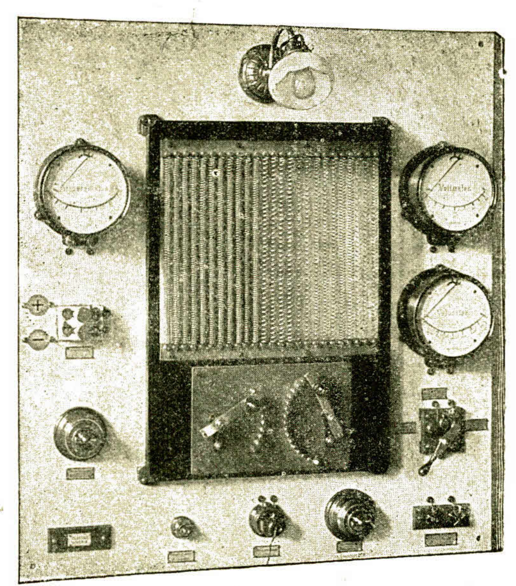


Fig. 192.

vorgesehen: für volle Funkenlänge, normalen Röntgenbetrieb und Dauerbetrieb. Falls diese drei Kombinationen nicht genügen, baut dieselbe Firma auch Schalttafeln, die bis zum sechsteiligen Wehnelt-Unterbrecher erweitert werden können. Für die Wahl einer der betreffenden Abteilungen ist ein Pachytrop vorhanden.

Diese größeren Schalttafeln unterscheiden sich von den gewöhnlichen dadurch, daß Unterbrecher und Primärwicklung getrennte Schalter haben, so daß z. B. bei sechsteiligem Wehnelt-Unterbrecher und sechs Schaltungen der Primärspulen des Induktors 36 Kombinationen möglich sind.

An Stelle der Schalttafeln sind auch Schalttische im Gebrauch, die fahrbar eingerichtet sind, und auf ihrer Platte alle Nebenapparate übersichtlich angeordnet tragen. Ein solcher Schalttisch von Seifert in Hamburg mit Walter-Schaltung ist in Fig. 195 dargestellt. Ähnlich sind die Schalttische der Firma Siemens & Halske in Berlin. Sie enthalten die Apparate für

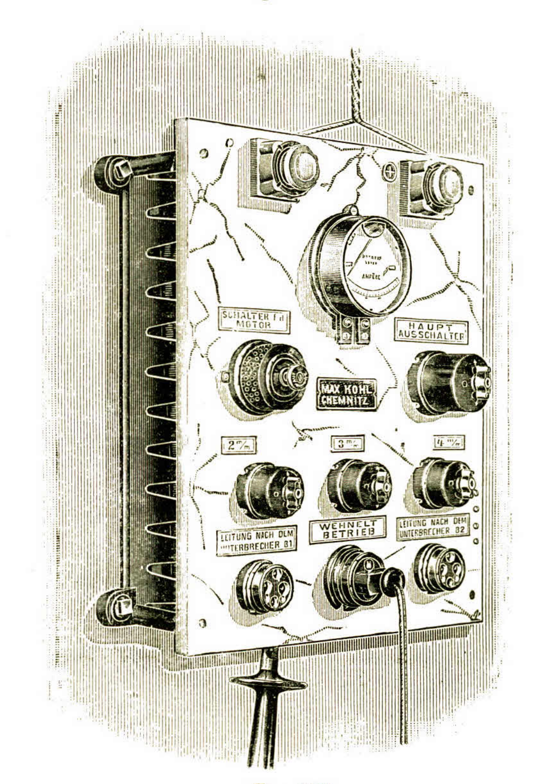


Fig. 193.

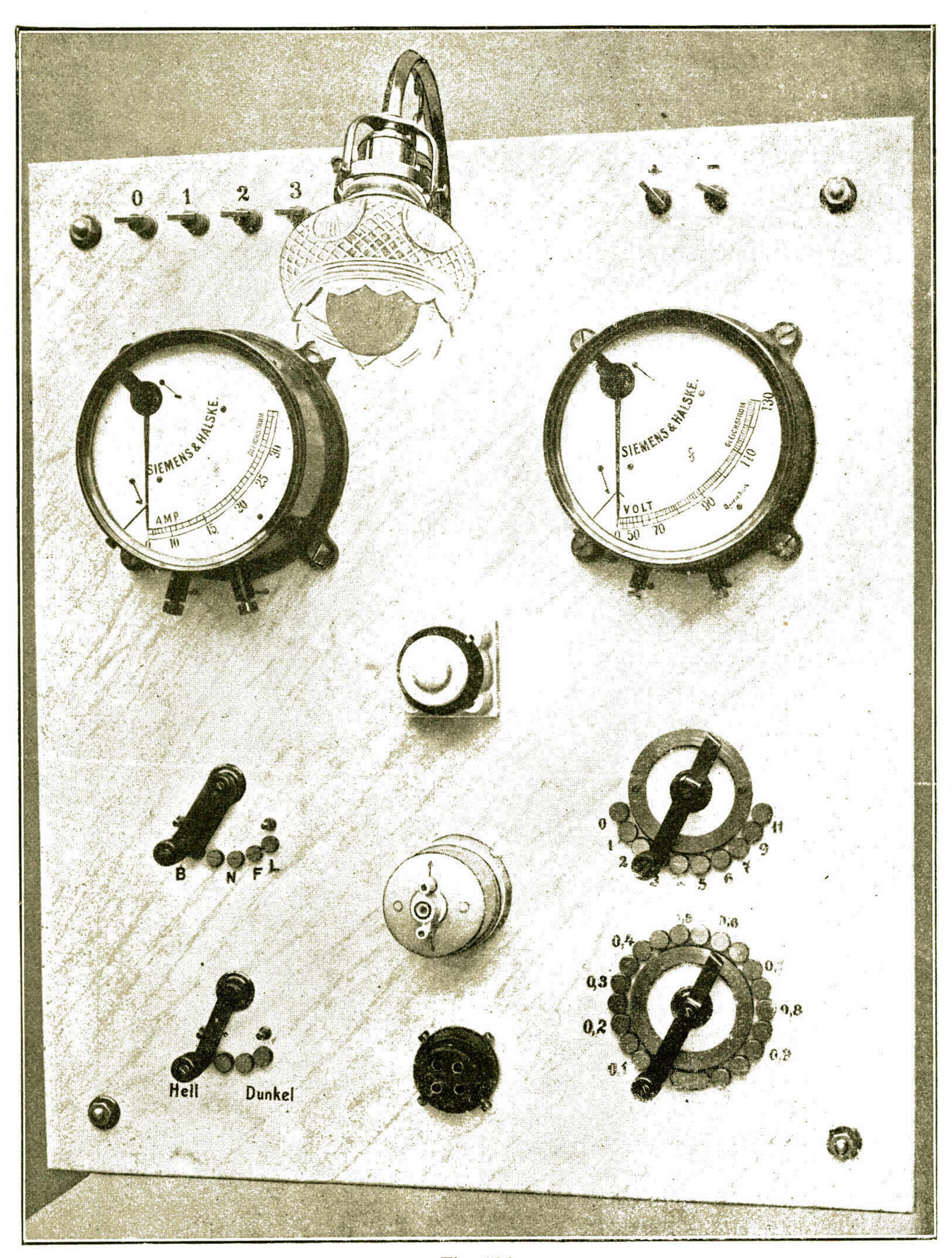

0
1
2
3
SIEMENS & HALSKE
AMP
10
15
20
25
30
SIEMENS & HALSKE
VOLT
50
70
90
110
130
B
N
F
L
Hell
Dunkel

Fig. 194.

einen dreiteiligen Wehnelt-Unterbrecher nebst einer sechsfachen Regulierung der Selbstinduktion der Primärspule. Stiftlänge und Selbstinduktion können gesondert geschaltet werden, so daß man z. B. für hohe Selbstinduktion einen langen Stift benutzen kann, wobei dann die Unterbrechungszahl zwar sinkt, die Stromstärke aber zunimmt.

Auch für andere Unterbrecher haben sich die Schalttische eingeführt, sie gestatten dem Experimentator jede notwendige Regulierung vorzunehmen, ohne seinen Platz zu verändern. Fig. 196 zeigt einen derartigen Reguliertisch der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin für den

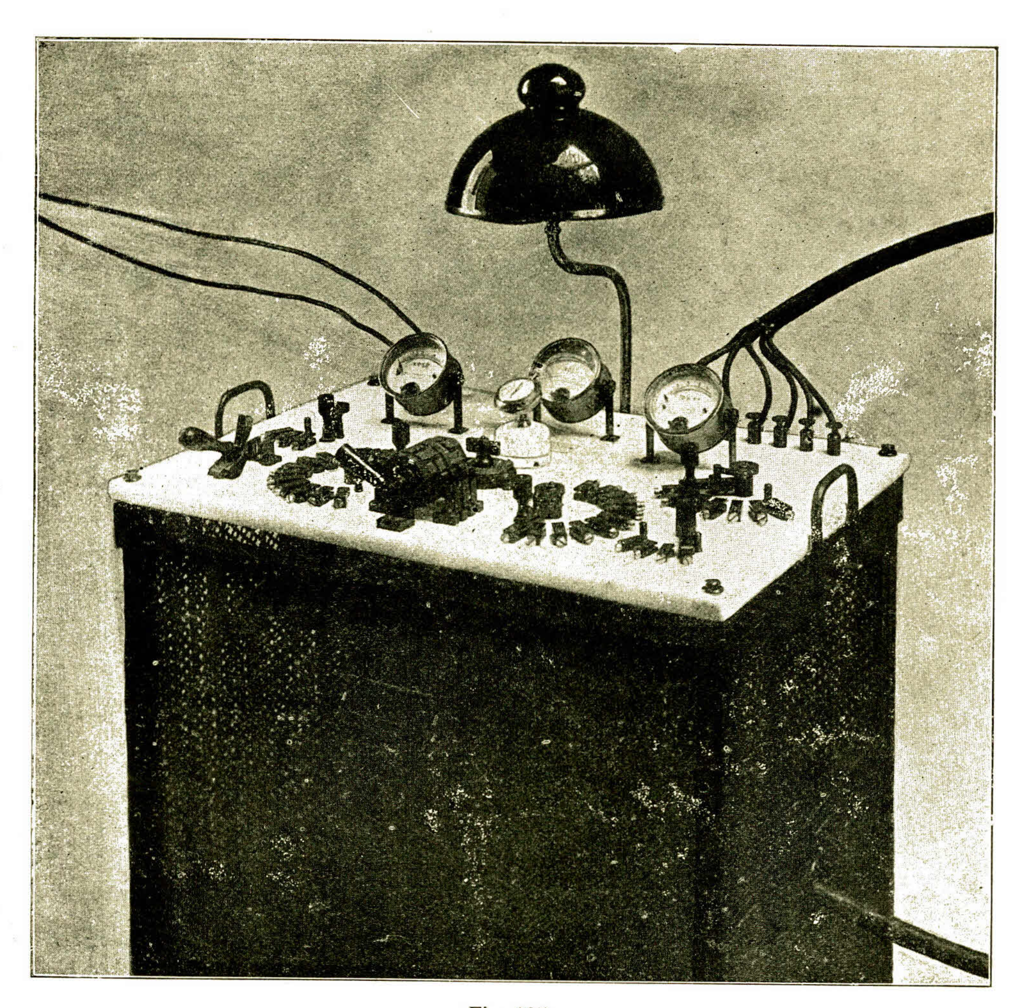


Fig. 195.

Betrieb eines Turbinen-Unterbrechers. Er ist sehr elegant aus Eisen mit Marmorplatte hergestellt. Die Anschlüsse sind nahe dem Fußboden gelegt, damit sie nicht hinderlich sind.

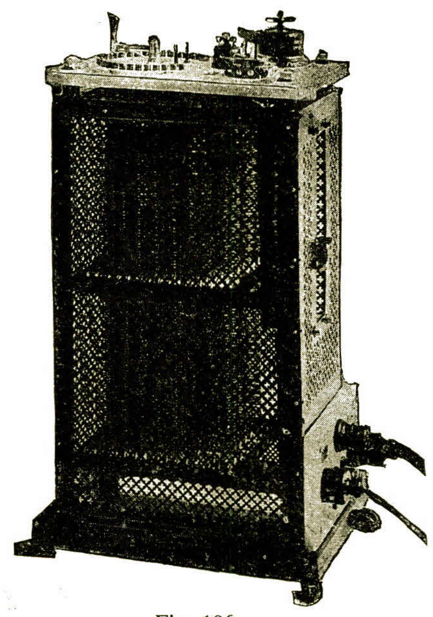


Fig. 196.

Wo keine Schalttafeln vorhanden sind, müssen die einzelnen Instrumente besonders verbunden werden und soll hierzu im folgenden Abschnitt eine Anleitung gegeben werden.

Achtes Kapitel.

Zusammenschaltung der Apparate.

Zur Verbindung der einzelnen Apparate untereinander nehme man der vorhandenen Maximalstromstärke entsprechend starke Drähte. Kupferdrähte von 2 mm Durchmesser, mit guter Isolation versehen, werden in den meisten Fällen genügen. Sehr passend sind überklöppelte Lichtleitungsdrähte, auch Kabel von Kupferlitzen lassen sich verwenden.

Die einzuklemmenden Enden müssen gut blankgeschabt sein. Obgleich die Schaltungen, nach dem in den vorigen Kapiteln Gesagten sich eigentlich von selbst verstehen, soll doch im folgenden noch eine kurze Zusammenstellung erfolgen. Wir unterscheiden dabei die Verbindungen der Apparate bei Anwendung von Akkumulatorenbetrieb und bei Netzanschluß.

1. Akkumulatorenbetrieb.

Die einfachste Verbindung findet bei Anwendung der automatischen Unterbrecher statt, weil diese meistens mit dem Induktor zusammen montiert sind. Man schaltet dann die erforderliche Anzahl Akkumulatoren hintereinander und die äußersten Polenden direkt, ohne Anwendung eines Regulierwiderstandes, an die Klemmen des Stromwenders bezw. Induktors. Vorteilhaft ist die Zwischenschaltung einer Sicherung, da solche sowohl die Stromquelle als auch den Induktor vor zu großer Belastung schützt. Die Batterie kann außerdem zur Beleuchtung dienen, was namentlich beim Arbeiten mit Röntgenapparaten sehr erwünscht ist. Durch den Stromwender wird die richtige Stromrichtung ermittelt (vergl. Fig. 197) und dann Spitze und Platte auf die größtmögliche Funkenlänge auseinander gezogen.

Vollkommener ist die Einrichtung, wenn außer der Sicherung noch ein Regulierwiderstand sowie die Instrumente zur Bestimmung der Spannung und Stromstärke eingeschaltet werden. Das Voltmeter erhält einen besonderen

Ausschalter (vergl. Fig. 198). Hat man sich von dem richtigen Funktionieren der Apparate überzeugt, so kann der Widerstand allmählich ausgeschaltet werden.

Wird der am Induktor angebrachte Unterbrecher durch einen anderen ersetzt, so können zwei Fälle eintreten:

Wird der Unterbrecher mit dem primären Stromkreise des Induktors hintereinander geschaltet, so tritt er ohne weiteres an die Stelle des ent-

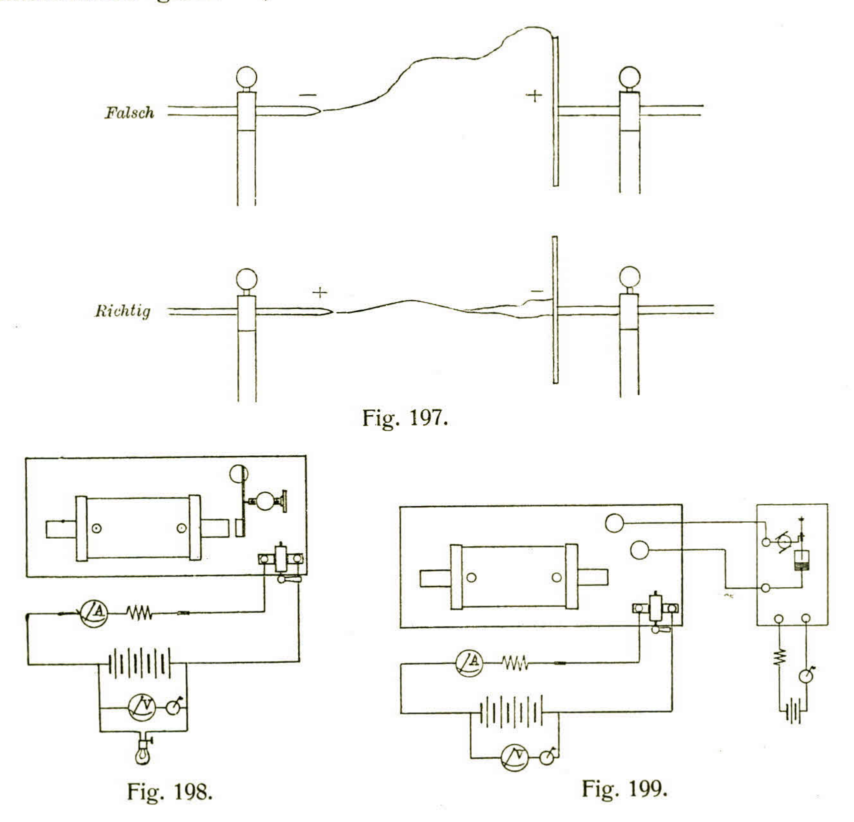


Fig. 197.

Fig. 198.

Fig. 199.

fernten selbsttätigen Unterbrechers, indem ersterer an die Stromführungssäulen geschaltet wird (vergl. dazu auch Fig. 199). Etwas komplizierter wird die Schaltung, wenn der mit dem Induktor hintereinander geschaltete, besondere Unterbrecher einen eigenen Stromwender besitzt. Dieser Unterbrecher hat dann sechs Anschlußklemmen. Der Betriebsstrom wird den beiden Klemmen des Stromwenders am Unterbrecher zugeführt. Zwei der Klemmen werden mit der Primärspule und die letzten zwei Klemmen mit dem Kondensator des Induktors verbunden, indem man je eine Primär- und Kondensatorklemme kurz schließt und mit zwei Drähten mit den

Klemmen des abgeschraubten Induktor-Unterbrechers verbindet. Der Stromwender am Induktor wird kurz geschlossen (vergl. hierzu auch Fig. 200).

Wir kommen dann zu den Einrichtungen, bei denen der Induktor und Unterbrecher getrennte Apparate sind. Am einfachsten ist dann wieder die Verbindung, wenn der Unterbrecher z. B. ein rotierender Quecksilber-Unterbrecher zum Ersatz des abgenommenen Induktor-Unterbrechers dienen soll und keinen eignen Stromwender besitzt. Die dann nötige Schaltung ist in Fig. 199 veranschaulicht.

Hat der gesonderte Unterbrecher aber einen Stromwender, so sind an ihm vier Paar Klemmen vorhanden. Das eine Paar dient zur Betätigung des Unterbrechers, das zweite Paar zur Speisung des Induktors, das dritte

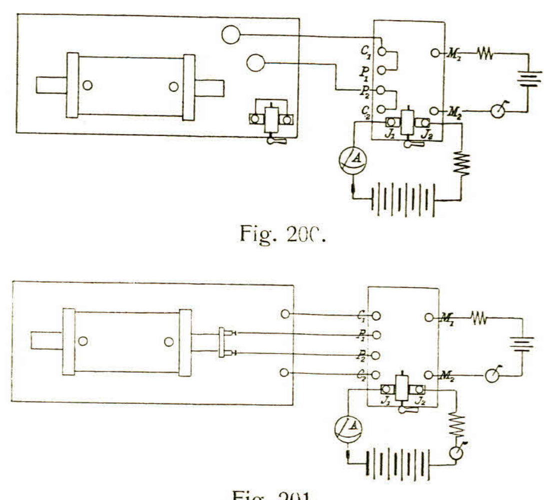


Fig. 200.

Fig. 201.

zur Verbindung mit der Primärspule und das vierte zum Anschluß des Kondensators. Diese Schaltung zeigt Figur 200; der Stromwender am Induktor ist kurz geschlossen.

Alle größeren Induktoren besitzen keinen Unterbrecher, auch keinen Stromwender, sondern nur zwei Klemmen zum Anschluß der Primärspule und sofern ein Kondensator vorhanden ist, noch zwei Klemmen für den Kondensator. Die Schaltung ist dann der vorigen ähnlich und in Fig. 201 angegeben. Ein Regulierwiderstand ermöglicht es, die Tourenzahl des Motors in weiten Grenzen zu verändern.

Es wurde bereits früher erwähnt, daß in dem Falle eines durch eine besondere Batterie betriebenen Unterbrechers erst dieser in Gang gesetzt werden muß, ehe der Hauptstrom eingeschaltet wird, und umgekehrt bei der Außerbetriebsetzung.

Ein Ausschalter, wie er in der Zeichnung angedeutet wird, ist nicht unbedingt notwendig, weil man den Stromwender als Ausschalter benutzen kann, aber er ist jedenfalls bequem, da man dann den Stromwender in seiner richtigen Lage belassen kann.

2. Starkstrombetrieb.

Wir kommen nun zu den Einrichtungen bei Anschluß an das Netz elektrischer Centralen. Bei diesen können Platin- und einfache Quecksilber-

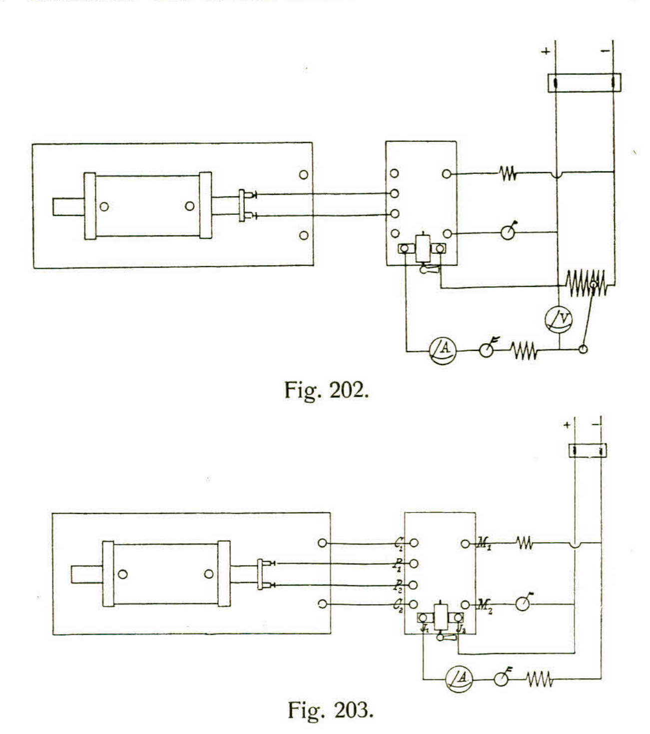


Fig. 202.

Fig. 203.

Unterbrecher nicht direkt angeschlossen werden, man wendet dann einen Nebenschlußwiderstand (vergl. Kapitel VI, Abschnitt 3, Seite 124 u. 125) an.

Fig. 202 veranschaulicht eine derartige Schaltung unter Benutzung eines Abzweigwiderstandes für einen Induktor ohne Stromwender, und einen ebenfalls von der Lichtleitung aus getriebenen Motor-Unterbrecher. Auch hier darf der Strom für den Induktor nicht eher geschlossen werden, als bis der Motor in Bewegung ist, nur bei den Quecksilberstrahl-Unterbrechern, bei welchen im allgemeinen auch kein Nebenschlußwiderstand erforderlich ist, ist diese Vorsicht nicht nötig (vergl. Fig. 203, Schaltung für direkten Netzanschluß).

Sehr einfach gestalten sich die Verbindungen bei Anwendung eines Flüssigkeits-Unterbrechers. Der Induktor wird mit dem Unterbrecher und einem Widerstand in Serie geschaltet. Beim Wehnelt-Unterbrecher (Fig. 204) ist darauf zu achten, daß die Platinspitze mit der positiven Klemme der Lichtleitung verbunden und ein Regulierwiderstand mit genügender Selbstinduktion genommen wird. Ein Kondensator ist nicht erforderlich, die Klemmen eines etwa am Induktor vorhandenen Kondensators werden nicht angeschlossen.

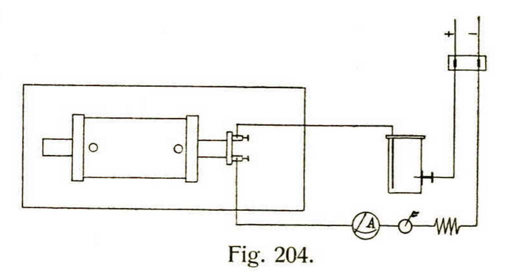


Fig. 204.

Für mehrteilige Wehneltunterbrecher und variable Selbstinduktion der Primärspulen werden die Schaltungen entsprechend komplizierter.

Fig. 205 zeigt das Schema einer Einrichtung mit Walterschaltung (vgl. S. 98 u. 99) unter Benutzung eines dreiteiligen Wehnelt-Unterbrechers, wie solche in der auf S. 140 abgebildeten Schalttafel der Firma Siemens & Halske in Berlin ausgeführt wird. Durch einen Kombinationsschalter können drei verschiedene Schaltungen zwischen den verschiedenen Platinstiften des Wehnelt-Unterbrechers und den verschiedenen Abteilungen der Primärspule hergestellt werden.

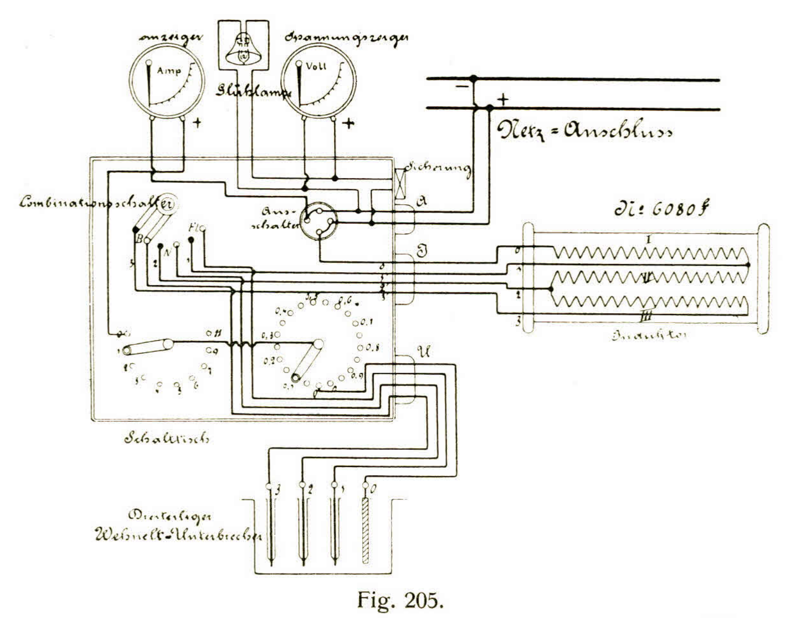


Fig. 205.

Fig. 206 zeigt das Schema des großen Schalttisches derselben Firma (vgl. S. 139 u. 141), bei dem Unterbrecher und Primärwicklung getrennt geschaltet werden können.

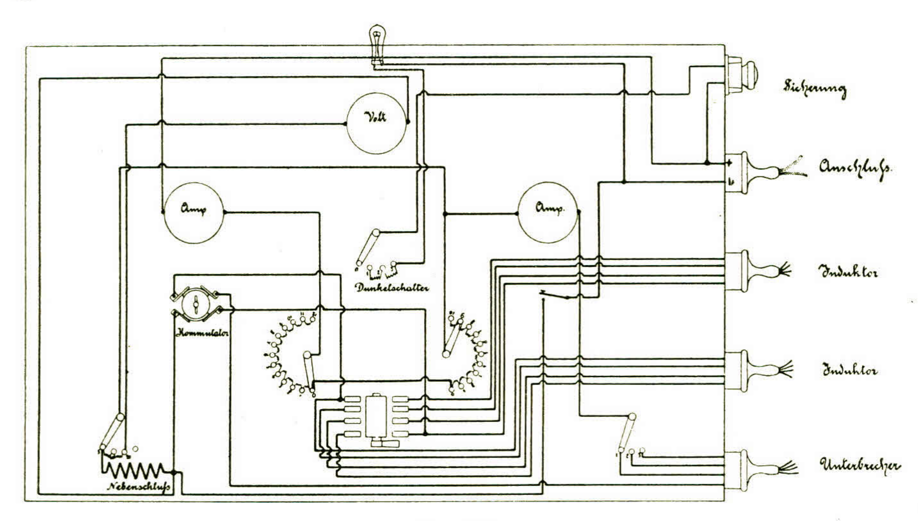


Fig. 206.

In Fig. 207 ist schließlich das Schaltungsschema für den Kohlschen Wechselstrom-Unterbrecher gegeben, der auf Seite 109/111 beschrieben worden ist. Vom Leitungsnetz werden zwei Stromkreise abgezweigt, der eine für den Elektromagneten des Unterbrechers, der zweite für den Betrieb des Funkeninduktors (Klemmen J_1 J_2). In den Stromkreis des Elektromagneten wird ein Bogenlampen-Transformator T und ein Bogenlampen-Vorschaltwiderstand geschaltet, um dem Netz weniger Energie zu entnehmen. In den Funkeninduktorstromkreis wird ein Stromregulator geschaltet, um mit verschiedenen Stromstärken arbeiten zu können. Ist der Wechselstromunterbrecher mit dem Leitungsnetz und dem Funkeninduktor richtig verbunden, so wird der Strom für den Elektromagneten geschlossen. Der bewegliche Anker A wird, wenn er nicht von allein in Schwingungen

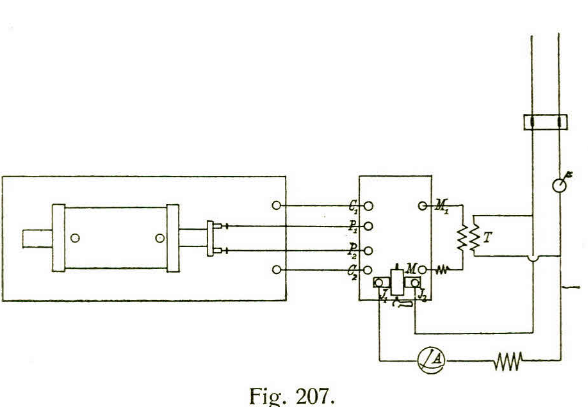


Fig. 207.

gerät, mit dem Finger angeschnellt. Vibriert der Anker, so schließt man mit dem Stromwender den Strom für den Funkeninduktor. Sind am Induktor Spitze und Platte für die Funkenstrecke nicht angebracht, so hat man vorher die sekundären Klemmen mit einem besonderen Funkenständer zu verbinden. Man stelle die Funkenstrecke zunächst nur auf etwa $^1/_3$ der maximalen Schlagweite. Die Funken müssen von der Spitze nach der Mitte der Scheibe springen; springen sie nach dem Rande der Scheibe, so ist die Stromrichtung mittels des Stromwenders umzukehren (vergl. Fig. 197). Nunmehr kann man die

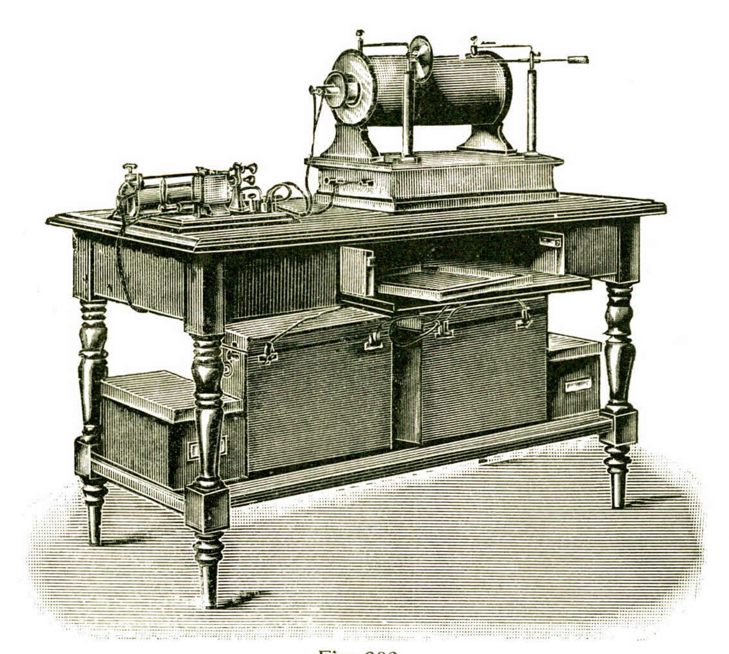


Fig. 208.

Entfernung zwischen Spitze und Scheibe, unter gleichzeitiger Vermehrung der Stromstärke, vergrößern, indem man den Widerstand im Stromzuführungskreise ausschaltet.

Ähnlich der soeben beschriebenen Schaltung ist diejenige für den auf S. 111/112 beschriebenen Villard-Chabaudschen Wechselstrom-Unterbrecher.

Es ist von großem Wert, daß die Apparate handlich und übersichtlich angeordnet werden. Wer dieselben nicht nur vorübergehend, sondern öfter oder gar beständig benutzen will, wird sich dieselben deshalb auf einem besonderen, womöglich fahrbaren Tisch, Pult oder Schrank anbringen. Für einen solchen Fall können die in folgendem abgebildeten Einrichtungen als Vorbild dienen.

In Fig. 208 ist ein Instrumentariumtisch abgebildet. Auf der oberen Platte sind der Induktor, Unterbrecher, Stromstärkeregulator für Induktor- und Unterbrecherstrom, Volt- und Ampèremeter etc. montiert, während die untere Platte zur Aufstellung einer Akkumulatorenbatterie von 36 Ampèrestunden Kapazität benutzt wird.

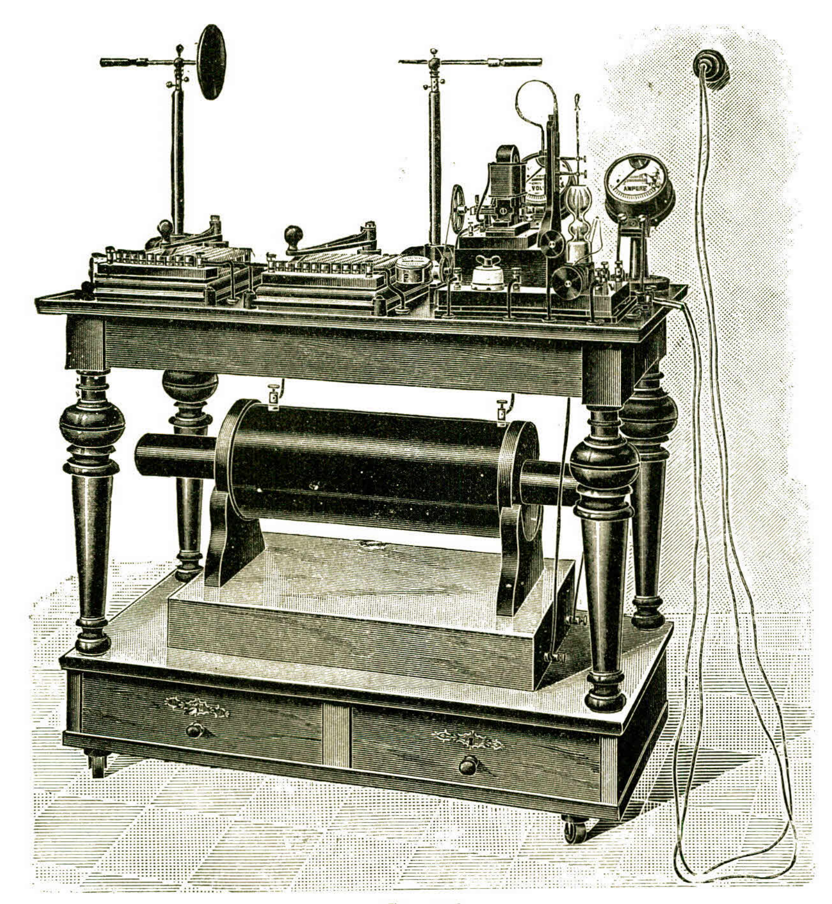


Fig. 209.

Ähnlich ausgeführte Instrumententische werden von den Firmen: Dessauer in Aschaffenburg, Ferd. Ernecke in Berlin und Max Kohl in Chemnitz geliefert.

Einfacher werden diese Instrumentarientische bei Starkstromanschluß. Fig. 209 zeigt eine derartige Einrichtung von Max Kohl in Chemnitz zum Anschluß an eine Gleichstromlichtanlage, bei welcher der Induktor sehr zweckmäßig unter dem Tische installiert ist.

Beliebt ist auch die Pult- oder Schrankform, wie solche in Fig. 210 dargestellt ist und von W. A. Hirschmann in Berlin gebaut wird. Der Induktor ist hierbei oben, auf dem Schranke aufgestellt, in seinem unteren Teile sind die Akkumulatoren oder die für den Anschluß an eine Leitung erforderlichen Widerstände untergebracht. Im oberen Teil befinden sich auf der einen Seite des geteilten Raumes der Unterbrecher, das Ampèremeter und eine Vorrichtung zur Änderung der Kapazität des Kondensators, auf der anderen Seite die verschiedenen Ausschalter, Stromwender und Regulierwiderstände für Induktor und Unterbrecher.

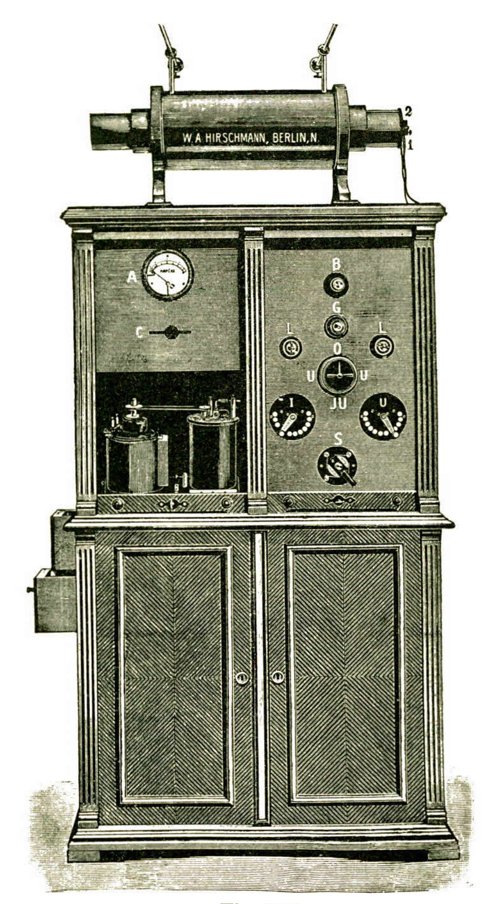


Fig. 210.

Ähnlich konstruiert sind die Schränke von Dr. Max Levy in Berlin und Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen, die in Fig. 211 und 212 abgebildet sind. Neben diesen Einrichtungen seien auch noch diejenigen in Wandtafelform erwähnt, wie sie von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin (Fig. 213), Dessauer in Aschaffenburg (Fig. 214) und W. A. Hirschmann in Berlin (Fig. 215) hergestellt werden.

Sehr einfach werden die Instrumentarien bei Anwendung eines Flüssigkeits-Unterbrechers. Fig. 216 zeigt die Anordnung von Dr. Max Levy in Berlin. Der Funkeninduktor ist mit einem Regulierwiderstand, Ampèremeter, Sicherung und Anschlußklemmen auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert. Der zugehörige Plättchen-Unterbrecher kann in einem Nebenraum untergebracht und mit dem Instrumentarium durch eine Doppellitze verbunden werden.

Ähnlich diesem ist die in Fig. 217 dargestellte Anordnung von Dessauer in Aschaffenburg.

Tragbare oder fahrbare Instrumentarien gelangen für Röntgenzwecke in Krankenhäusern, sowie bei der Telegraphie ohne Draht zur Anwendung. Die Akkumulatorenbatterie pflegt dann durch Verteilung

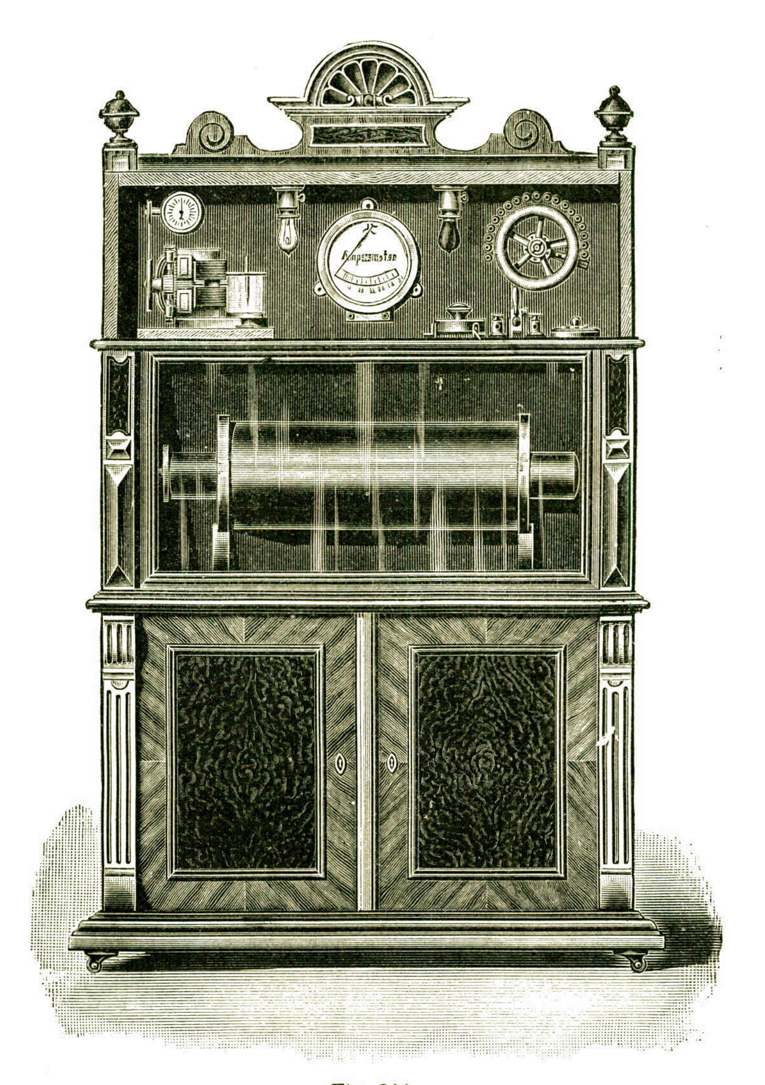


Fig. 211.

auf mehrere Kästen mit Griffen leichter transportabel gemacht zu werden. Derartige Einrichtungen liefern Cox in London, Dessauer in Aschaffenburg, Max Kohl in Chemnitz, Dr. Max Levy in Berlin, Rosenberg in London, Watson in London und Volt-Ohm in München (Fig. 218).

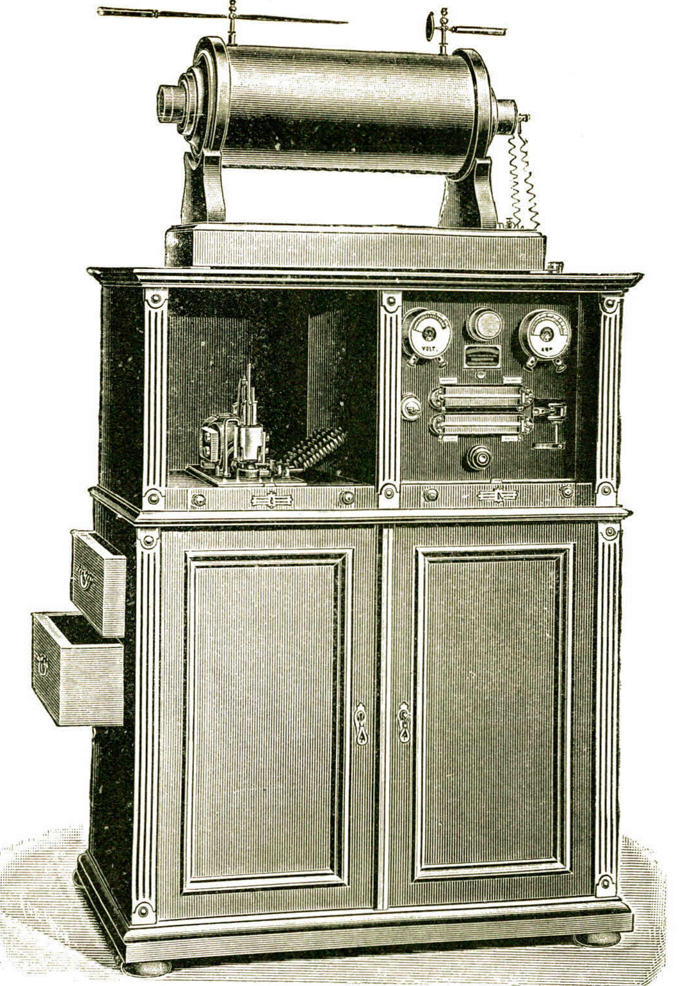


Fig. 212.

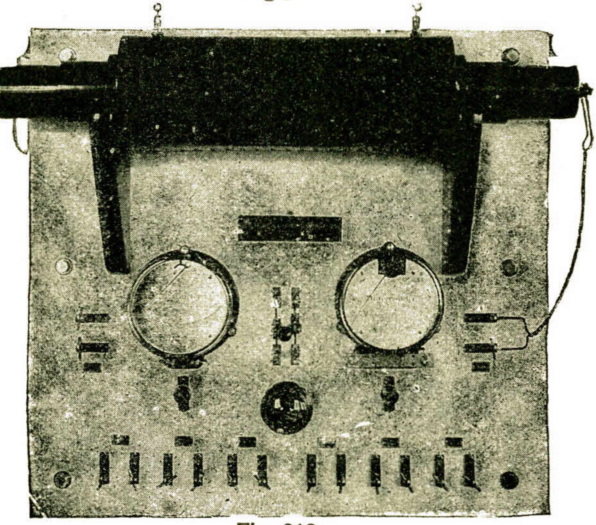


Fig. 213.

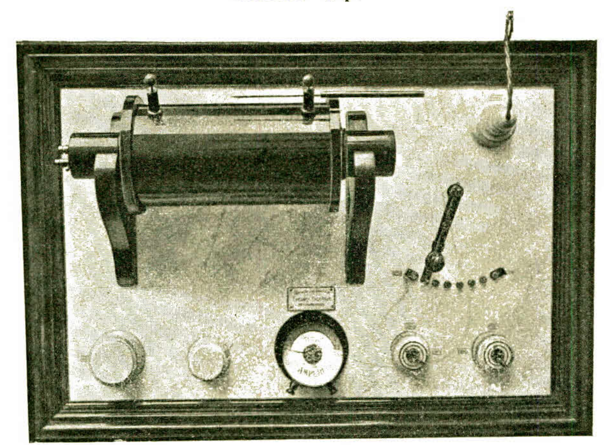


Fig. 214.

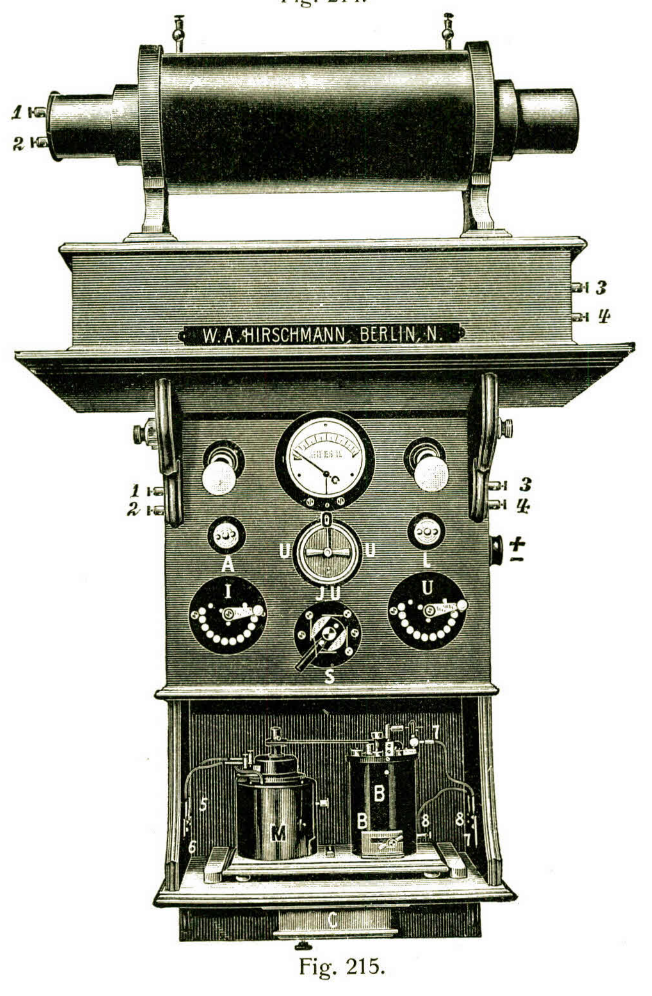


Fig. 215.

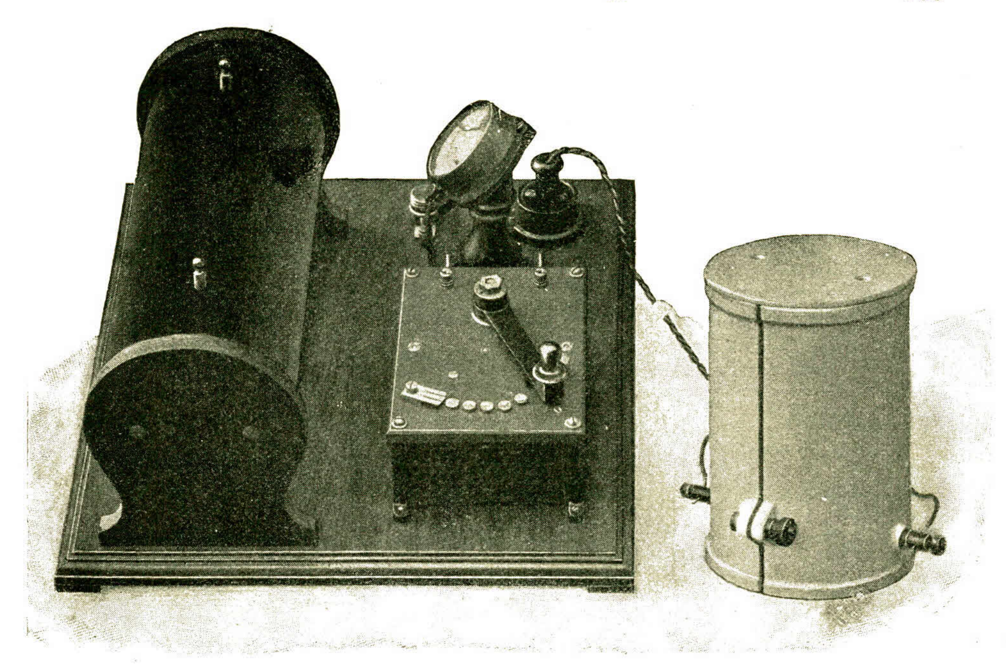


Fig. 216.

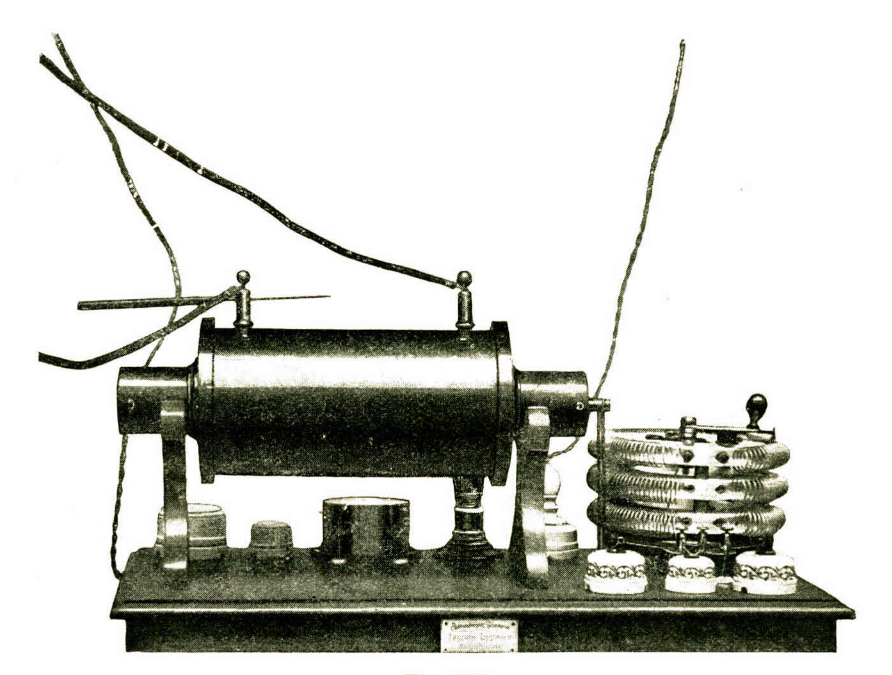


Fig. 217.

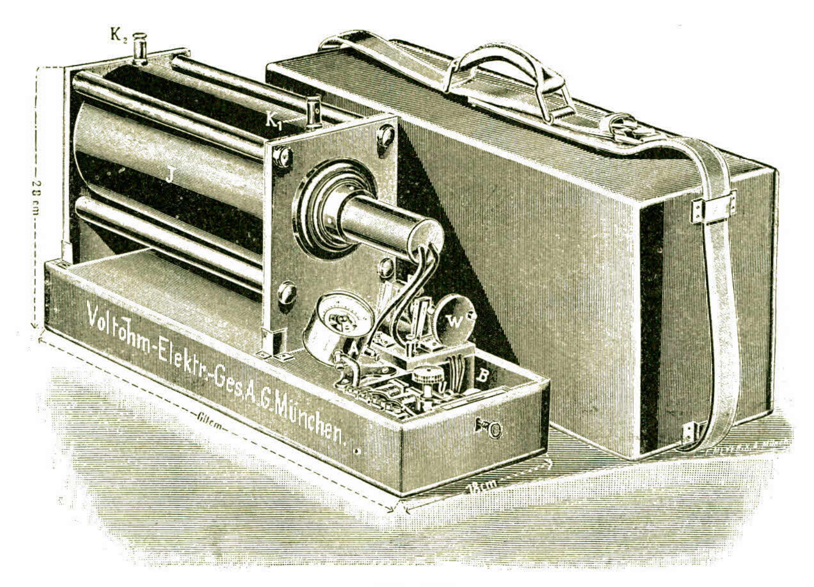


Fig. 218.

Diese transportablen Einrichtungen werden meist nur für Akkumulatorenbetrieb mit Platin-Unterbrecher, nur in den seltensten Fällen für Starkstromanschluß mit Flüssigkeits-Unterbrecher eingerichtet, wie z. B. bei der von Siemens & Halske in Berlin hergestellten transportablen Einrichtung (Fig. 219) mit Funkeninduktor für 25 cm Funkenlänge und Simon-Unterbrecher zum Anschluß an ein Netz von 65 bis 220 Volt, es sei denn, daß dieselben mit einer eigenen fahrbaren Kraftstation verbunden werden, wie wir dies später in dem Abschnitt über Röntgenapparate kennen lernen werden.

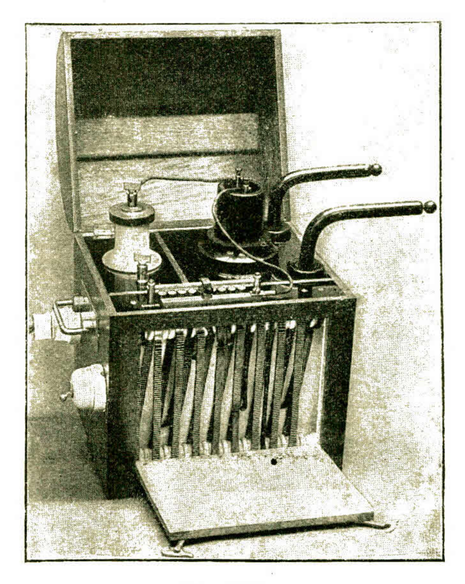


Fig. 219.

Neuntes Kapitel.

Experimente mit Funkeninduktoren.

Wird ein Funkeninduktor in Tätigkeit gesetzt, so gehen zwischen den mit den sekundären Polen verbundenen Entladern hellblaue Funken über. Um eine möglichst große Schlagweite zu erzielen, ist es vorteilhaft, den bereits beschriebenen Entlader anzuwenden, d. h. die negative Polspitze mit einer runden Messingscheibe zu vertauschen. Über die normale Funkenlänge hinaus, wo starke Büschelentladungen auftreten, die man besonders im Dunkeln gut beobachten kann, und die eine starke Ozonisierung der Luft bewirken, sollte man die Funkenstrecke nicht erweitern, weil dies dem Induktor leicht schaden kann. Bei der maximalen Funkenstrecke schlagen nur die von der primären Stromöffnung induzierten Funken über; verkleinert man die Funkenstrecke wesentlich, so gehen auch die Schließungsfunken über, die Funken werden kräftiger und zahlreicher und erscheinen dem Auge schließlich als eine gelbe bis gelbrote Flamme. Besonders bei sehr hoher Unterbrechungszahl des primären Stromkreises macht die Entladung den Eindruck eines kontinuierlichen Flammenbogens. Dieser Flammenbogen besteht aus zwei Teilen, einem hell leuchtenden, blauen Lichtstreif in der Mitte, umgeben von einer gelben, weniger leuchtenden, flammenartigen Aureole. Man kann die Trennung beider dadurch hervorbringen, daß man die Entladung zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten vor sich gehen läßt. Der helle Lichtstreif wird dadurch nicht geändert, die lichtschwache Aureole dagegen wird zu einer halbkreisförmigen Scheibe zusammengedrückt, deren Ebene auf der Verbindungslinie beider Pole senkrecht steht. Daß aber der gelbe Flammenbogen kein kontinuierlicher Strom ist, sondern ebenfalls aus einzelnen Entladungsfunken zusammengesetzt wird, kann man deutlich erkennen, wenn man in die Entladung von der Seite kräftig hineinbläst, oder indem man die Entladung in einem schnell rotierenden Spiegel betrachtet, oder noch besser, indem man von

dem Flammenbogen kinematographische Aufnahmen macht. Verfasser hat viele derartige Aufnahmen des Entladungsflammenbogens bei einem mit Flüssigkeits-Unterbrecher betriebenen Induktor gemacht, um so die Unterbrechungen zu zählen. Von einer gewissen Unterbrechungszahl an kann man dabei die überraschende Tatsache feststellen, daß sich die einzelnen, aufeinander folgenden Unterbrechungsfunken in derselben Bahn bewegen. Jeder überspringende Funke sucht sich nämlich den, wenn auch nicht kürzesten, so doch am leichtesten zu passierenden Weg aus. Nun leitet aber erwärmte Luft besser als kalte, und somit wird jeder folgende Funke einen ihm vom vorhergehenden Funken angewärmten Luftkanal vorfinden und diesen einschlagen.

Im allgemeinen ist die Anzahl der Funkenentladungen gleich der Anzahl der Unterbrechungen im primären Stromkreise, jedoch kann man bei sehr kräftigen Entladungen bei jeder primären Stromunterbrechung mehrere Funken in der sekundären Entladung nachweisen, die langsam schwächer werden. Fig. 79 zeigte eine derartige, durch Abblasen des Funkens erhaltene, geschichtete Einzelentladung aus einem Induktorium von Klingelfuß in Basel. Diese Vielfachfunken folgen sehr viel schneller aufeinander als die vorher erwähnten, von mehreren aufeinander folgenden Unterbrechungen herrührenden Einzelfunken, verlaufen aber ebenfalls in parallelen Linien von prachtvoller Zeichnung. Nach der Klingelfußschen Theorie, die wir im IV. Kapitel, Abschnitt 16 kennen gelernt haben, beruhen diese mehrfachen, in der Intensität rasch abnehmenden Funken auf elektrischen Schwingungen im primären Stromkreise und geben ein ausgezeichnetes Mittel an die Hand, die Schwingungszeit des aus Selbstinduktion und Kapazität gebildeten primären Systems vom Induktor zu berechnen.

Schaltet man parallel zu den sekundären Klemmen eines Induktors eine Leydner Flasche, so wird in ihr die Elektrizität bis zu einem gewissen Grade angehäuft, ehe ein Überspringen des Funkens zwischen den Entladern erfolgt. Letztere müssen dabei näher aneinander, mindestens auf die Schlagweite der Flasche gestellt werden. Diese Funken sind dann zwar viel kürzer, aber sehr viel kräftiger, sehr hell und von lautem Knall begleitet.

Die sehr bedeutende mechanische Kraft solcher Entladungsschläge kann man an dem Durchschlagen von Glasplatten zeigen, ein Experiment, welches vorzüglich dann gelingt, wenn man auf die zu durchschlagende Mitte der Glasplatte beiderseits einen spitzen Metallstab durch Siegellack aufkittet.

Die Entladungsfunken sind sehr reich an den chemisch wirksamen blauen, violetten und ultravioletten Strahlen, zumal bei Anwendung von Elektroden aus Aluminium, Kadmium etc., sie werden deshalb oft als Ersatz des Bogenlichts für therapeutische Zwecke (Finsenbestrahlung) angewendet. Man läßt

sie zu diesem Zweck innerhalb einer mit einem Quarzfenster versehenen Kapsel überspringen, welche auf die zu behandelnde Körperstelle gedrückt wird.

In physikalischer Hinsicht geben die starken Funkenentladungen ein gutes Mittel zur Untersuchung von Metallspektren ab.

Besonders interessant sind die Funkenentladungen in Röhren mit verdünnten Gasen. Der positive Pol erscheint von einem purpurroten Lichtschein, der beinahe bis zum negativen Pol reicht, umgeben; letzterer ist von einem tiefblauen Licht eingeschlossen, das von der Elektrode durch einen dunklen Zwischenraum getrennt ist. Die rote Lichtgarbe erscheint in einer Reihe abwechselnd heller und dunkler Schichten, die zur Röhrenachse senkrecht stehen. Obgleich man glauben könnte, daß die Röhre kontinuierlich leuchtet, ist dies doch nicht der Fall, vielmehr tritt das Leuchten stoßweise, den Unterbrechungen im Hauptstrom des Induktors entsprechend, auf. Dies kann man in einfacher Weise dadurch zeigen, daß man die Röhre rotieren läßt. Die Röhre hat während der Zeit von einer Unterbrechung zur andern ihren Ort verändert und so sieht man einen vielseitigen Stern (Gassiotschen Stern), eine ganz prachtvolle Erscheinung.

Um die Röhre nicht jedesmal auspumpen zu müssen, kann man dieselbe auch zuschmelzen und erhält dann eine immer zum Gebrauch fertige Röhre. Geißler in Bonn stellt solche nach ihm benannte Röhren von verschiedenen, farbig fluoreszierenden Glassorten, mit den verschiedensten Gasen und Flüssigkeiten gefüllt, in sehr interessanten Formen her, die sehr preiswert sind.

Das Aussehen einer solchen Geißlerschen Röhre ist je nach der Luftverdünnung in ihr, ein sehr verschiedenes. Wird während des Funkendurchganges der Druck in der Röhre durch fortgesetztes Auspumpen erniedrigt, so dehnt sich das bläuliche Glimmlicht am negativen Pole immer weiter aus, das positive rote Licht geht zurück. Bei sehr starker Evakuierung (1 Millionstel Atmosphäre und darunter) endlich sind nur noch die von der Kathode ausgehenden Strahlen vorhanden, diese folgen aber nicht mehr den etwa in der Röhre vorhandenen Krümmungen, wie es bei Röhren mit mäßiger Luftverdünnung der Fall ist, sondern sie pflanzen sich geradlinig fort. Treffen sie dabei auf die Glaswand der Röhre, so tritt an diesem Punkte ein lebhaftes Fluoreszieren des Glases ein. Diese teilweise unsichtbaren Kathodenstrahlen strahlen von jedem Punkte der Kathode in einer zu ihrer Oberfläche normalen Richtung aus; gibt man daher der Kathode die Form einer Kugelkalotte, so werden die Kathodenstrahlen in einem Brennpunkte — dem Mittelpunkt der zugehörigen Kugel — vereinigt. Hier werden dann hohe Wärmewirkungen erzielt, so daß z. B. ein dort an-

gebrachtes Platinblech in dem Brennpunkte durchschmilzt. Daß die Strahlen auch mechanische Wirkungen ausüben, kann man an leicht beweglichen Schaufelrädern, Windmühlenflügeln etc. sehen, die in den Röhren angebracht werden können. Mit derartigen Experimenten haben sich namentlich Hittorf (1869), Crookes (1879) und Lenard (1896) beschäftigt, und weisen die Ergebnisse darauf hin, daß es mit ungeheurer Geschwindigkeit (ca. 100000 km in der Sekunde) fortgeschleuderte materielle Teilchen, Atome des Kathodenmaterials sein müssen, welche die mit den Kathodenstrahlen verknüpften Erscheinungen hervorbringen. Von diesen hochinteressanten Erscheinungen ist praktisch die Tatsache am bedeutungsvollsten geworden, daß beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf feste Körper eine neue Strahlenart entsteht, die unter dem Namen „X"-Strahlen von Dr. v. Röntgen in Würzburg (1896) zuerst beschrieben worden ist. Diese Strahlen, mit deren Erzeugung und Anwendung wir uns im folgenden Kapitel etwas ausführlicher beschäftigen wollen, haben sehr merkwürdige Eigenschaften: sie sind für unser Auge unsichtbar, wirken aber sehr stark auf eine photographische Emulsionsplatte; sie durchdringen eine dicke Aluminiumplatte wie gewöhnliche Lichtstrahlen eine Fensterscheibe, durch eine gut durchsichtige Glasscheibe aber dringen Röntgenstrahlen fast gar nicht hindurch. Die Röntgenstrahlen können weder reflektiert, noch gebrochen werden, daher kann man sie weder in einem Brennpunkte vereinigen, noch durch Prismen zerlegen. Sie sind auch im Gegensatze zu den Kathodenstrahlen magnetisch nicht ablenkbar.

Zehntes Kapitel.

Röntgenstrahlen-Technik.

1. Röntgenröhren.

Bei den anfänglich zur Erzeugung der Röntgenstrahlen verwendeten Röhren entstanden die Röntgenstrahlen durch Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Glaswand der Röhre. Die so erzeugten Röntgenstrahlen waren nur schwach, man mußte die von den Kathodenstrahlen getroffene Glasfläche ziemlich groß nehmen, weil bei zu starker Vereinigung der Kathodenstrahlen die Glaswand glühend wurde und dem äußeren Luftdruck nicht stand hielt. Es war ein guter Gedanke, die von den Kathodenstrahlen getroffene Fläche von Platin zu machen und ins Innere der Röhre zu verlegen. Platin erzeugt mehr Röntgenstrahlen als Glas, ist auch hitzebeständiger, so daß die von der hohlspiegelartigen Oberfläche der Kathode ausgehenden Kathodenstrahlen auf dem Platinblech mehr in einem Punkte vereinigt werden können. Die von diesem Punkte ausgehenden Röntgenstrahlen wirken nicht nur stärker, sondern ergeben auch schärfere Schattenbilder.

Die Grundform aller heutigen Röntgenröhren bildet somit eine Kugel von Glas, mit seitlichen, die Elektroden enthaltenden Rohrstutzen. Die Anode besteht meistens aus einer Aluminiumplatte, die Kathode aus einem Hohlspiegel, ebenfalls aus Aluminium. Die Platte aus Platin, auf welche die Kathodenstrahlen auffallen, wird »Antikathode« genannt, sie befindet sich in der Glaskugelmitte und ist mit der Anode leitend verbunden, um die Zerstäubung der Antikathode zu vermindern (Fig. 220).

Diese Röntgenröhre wird mit der sekundären Funkenstrecke des Induktors so geschaltet, daß die Platte mit der Kathode, die Spitze mit der Anode der Röhre verbunden ist (vergl. Fig. 221). Die Funkenstrecke des Induktors, auf ihre maximale Schlagweite eingestellt, lasse man der Röhreneinschaltung parallel bestehen, damit etwaige Überspannungen sich hier ent-

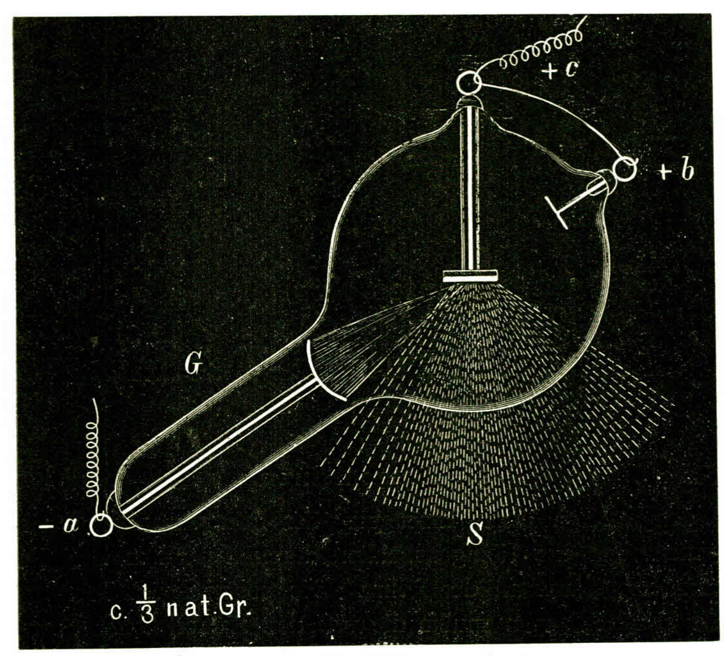


Fig. 220.

laden können. Wächst z. B. während längeren Betriebes der Widerstand in der Röhre, so kann die Entladung über die Funkenstrecke erfolgen und wird so weder die Röhre, noch die Sekundärwicklung des Induktors gefährdet. Bei richtiger Einschaltung erscheint die Röhre zur Hälfte hellgrün leuchtend, zur Hälfte bleibt sie dunkel. Beide Hälften sind scharf getrennt, die grüne Hälfte liegt über der Platin-Antikathode. Sollte diese eben angegebene Beleuchtung nicht eintreten, so ist die Stromrichtung falsch und lege man dann den Stromwender um. Den falschen Zustand längere Zeit bestehen zu lassen, ist nicht ratsam, weil die Platinantikathode dann Kathode ist und das Platin zerstäubt, wodurch die Lebensdauer der Röhre sehr verkürzt wird. Nach richtiger Einstellung der Stromrichtung kann die Stromstärke im Induktor durch allmähliches Ausschalten von Widerstand so weit erhöht werden, daß die Platin-Antikathode eben zu glühen beginnt.

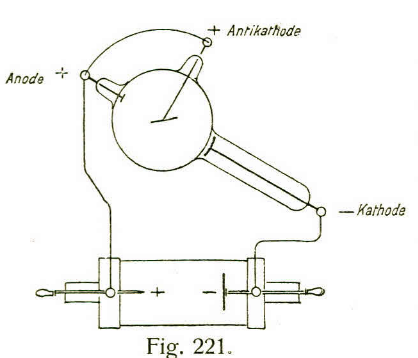


Fig. 221.

Um die Röhren für starke Beanspruchung haltbar zu machen, hat man die Antikathode aus einem dicken Metall-

stück hergestellt und die reflektierende Fläche schräg gestellt. Der Platinspiegel ist an einem dicken Metallrohr, das die Wärme ableiten soll, befestigt (Röhre [Fig. 222] von Gundelach in Gehlberg).

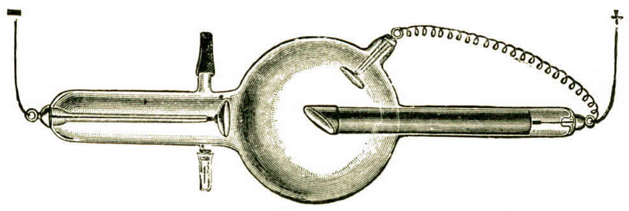


Fig. 222.

Die Dr. Max Levysche Kontraströhre (Fig. 223) ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die Antikathode aus einem metallischen und einem nichtmetallischen, isolierenden Material zusammengesetzt ist. Ersteres dient zum Auffangen der Kathodenstrahlen und Emission der Röntgenstrahlen, letzteres hat einen doppelten Zweck: zunächst leitet es die Wärme der Platinplatte schlecht ab, so daß diese in lebhaftes Glühen gerät und so viel kräftigere Röntgenstrahlen aussendet. Dieses Glühen des Platinbleches mußte früher sorgsam vermieden werden, weil die Erwärmung der Antikathode sich auf die sie tragenden Metallteile fortpflanzte und aus diesen die bei der Evakuierung nicht entfernten Gase austrieb, wodurch die Röhre unwirksam wurde. Dieser Übelstand wird durch die hintergelegte Isolierscheibe, welche schlecht wärmeleitend ist, selbst aber die höchsten Temperaturen verträgt, beseitigt, denn Gase gibt sie selbst im weißglühenden Zustande nicht ab. Ihr fernerer Zweck ist, als Wärmereservoir für die Antikathode zu dienen, wozu sie sowohl durch ihre Masse als auch Wärmekapazität vortrefflich geeignet ist. So schön dieser Gedanke auch ist, so kann doch die Dr. Levysche Kontraströhre nur bei Platin- oder mechanischen Quecksilber-Unterbrechern, allenfalls auch noch bei Quecksilberstrahl-Unterbrechern und nicht zu hohen Betriebsspannungen angewendet werden. Bei Verwendung der Flüssigkeits-Unterbrecher und direktem Netzanschluß wird die Antikathode binnen kurzer Zeit so heiß, daß das Platin flüssig wird und herabtropft. Für solche Fälle muß auf Röhrenkonstruktionen mit besonders guter Wärmeableitung von der Antikathode zurückgegangen werden. Man hat Röhren, bei denen die Antikathode an einem Kühlwasserbehälter angebracht, andere, bei denen sogar fließendes Wasser zur Kühlung benutzt wird.

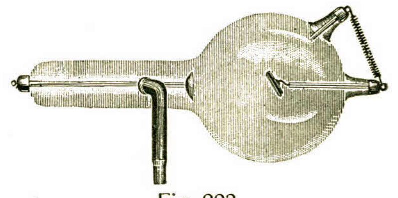


Fig. 223.

Fig. 224 zeigt die Dr. Levysche Kontraströhre mit Wasserkühlung; Fig. 225 die Hirschmannsche Röhre mit Wasserkühlung.

Bei den Röhren, die durch fließendes Wasser gekühlt werden sollen,

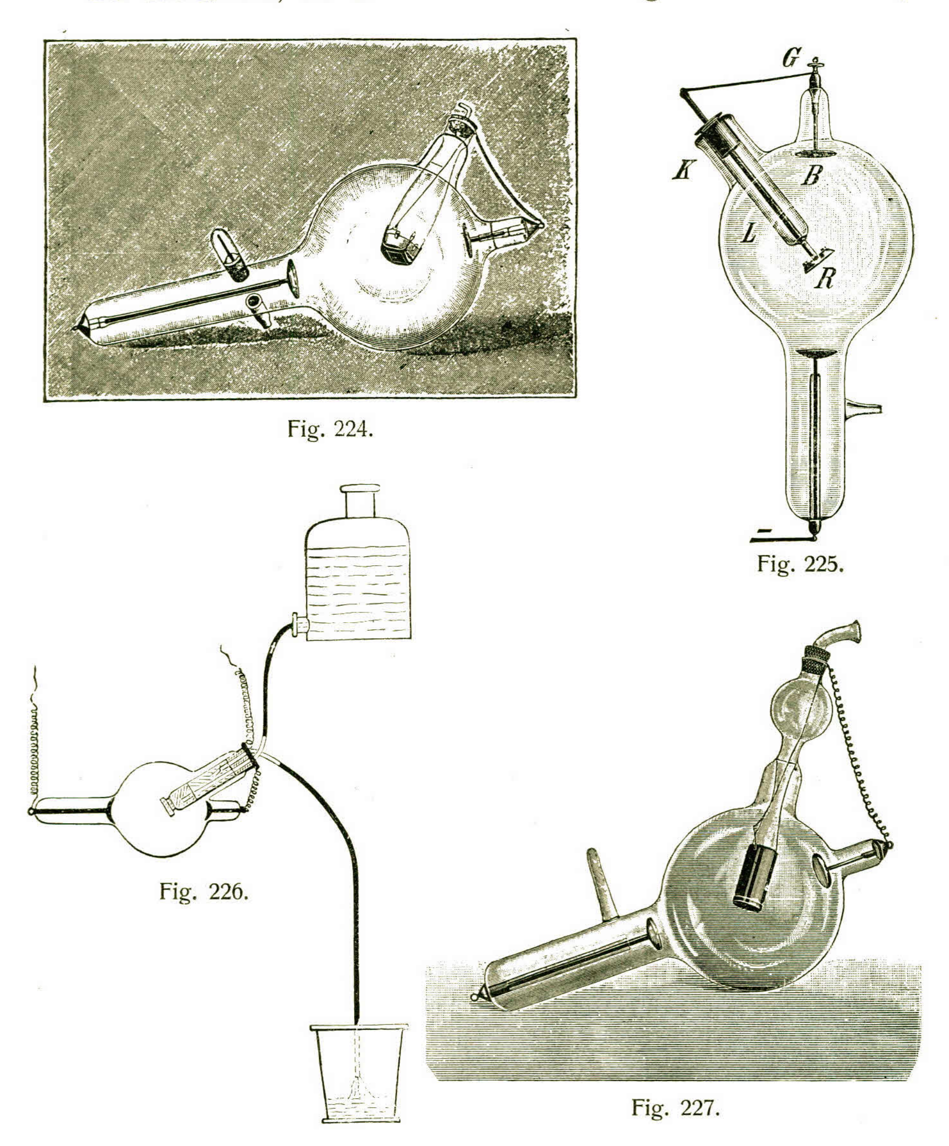


Fig. 224.

Fig. 225.

Fig. 226.

Fig. 227.

ist möglichst die Verbindung des Wasser zuführenden Schlauches mit der Wasserleitung zu vermeiden. Eine solche Einrichtung wird vielmehr in der in Fig. 226 abgebildeten Weise (Röhre [Fig. 227] und Einrichtung nach Ferdinand Ernecke in Berlin) erfolgen müssen.

An Stelle von Wasser kann zweckmäßig auch blondes Harzöl verwendet werden, wie dies von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin für ihre diesbezüglichen Röhren (Fig. 228) empfohlen wird.

Während bei den bisher beschriebenen Wasserkühlröhren die Antikathode über den geschlossenen Kühlbehälter hinübergeschoben und das Platinblech so von dem Kühlwasser durch die Glaswand des Reservoirs getrennt war, hat C. H. F. Müller in Hamburg neuerdings eine Röhre für hohe Beanspruchung konstruiert, bei welcher die Antikathode den Boden des Kühlwasserbehälters selbst bildet (Fig. 229). Die Kühlung ist in diesem Fall, wo das Wasser die Rückseite des Antikathodenplatinbleches direkt berührt, eine viel wirksamere, als bei den oben beschriebenen Röhren mit

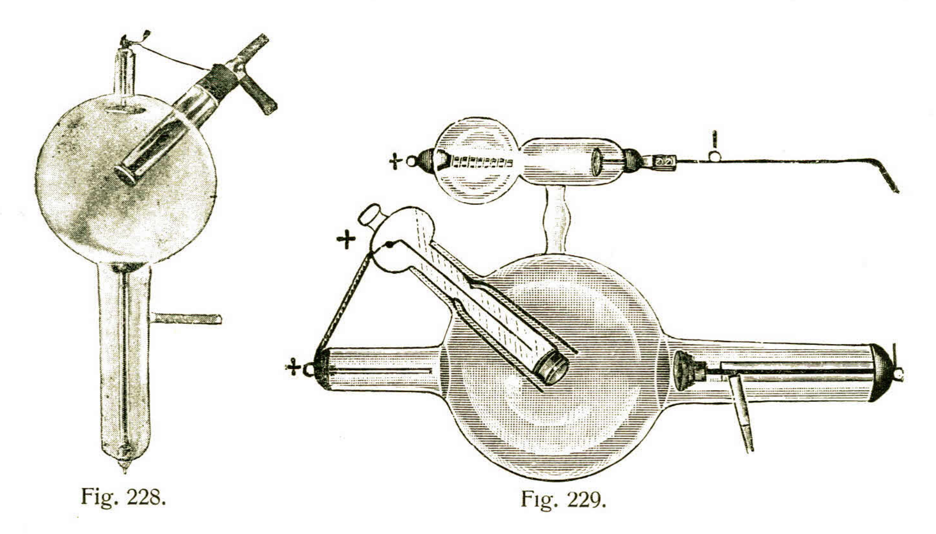


Fig. 228. Fig. 229.

indirekter Kühlung. Die Antikathode besteht aus einem Platintopfe, der Antikathodenträger aus einem Glasgefäße, welches vor Benutzung der Röhre bis zu etwa drei Viertel seines Inhalts mit Wasser zu füllen ist. Durch Anordnung eines gläsernen Schutzmantels um die Antikathode zur Verhütung vagabondierender Strahlen ist diese Röhre zu einer der besten und brauchbarsten der bisher existierenden Röntgenröhren geworden. Allerdings ist der Preis dieser Röhre ein ziemlich hoher, was in der glastechnischen Schwierigkeit ihrer Herstellung begründet ist.

Das Vakuum in einer Röntgenröhre ist auf ihre Wirkung vom größten Einfluß. Die Luftverdünnung ist unter allen Umständen eine außerordentlich hohe, allein innerhalb ganz enger Grenzen sich haltende Schwankungen in dieser Verdünnung verändern den Charakter der Röhre vollständig. Röhren mit sehr hohem Vakuum geben flaue, kontrastlose Bilder (helle Knochen,

helles Fleisch!), besitzen aber Strahlen von großer Durchdringungskraft; Röhren mit etwas zu geringer Verdünnung geben kontrastreiche Bilder, haben aber geringe Durchdringungskraft. Erstere nennt man »harte«, letztere »weiche« Röhren. Ob eine Röhre hart oder weich ist, kann man von vornherein an der Länge der überspringenden Funken an der parallel geschalteten Funkenstrecke des Induktors sehen; eine harte Röhre hat infolge der hohen Luftverdünnung einen größeren Widerstand als eine weiche, bei ersterer werden also längere Funken auf der parallel geschalteten Funkenstrecke überspringen als bei einer weichen.

Übrigens ändert sich der Widerstand jeder Röntgenröhre während ihrer Benutzung, so daß eine anfänglich gut arbeitende Röhre nach kurzer Benutzung schlechte Bilder liefert. Dies hat zwei ganz verschiedene Ursachen. Die eine beruht darauf, daß beim Gebrauch einer Röhre kleine, an der Glasfläche oder den Elektrodenteilen fest anhaftende Luftbläschen, die bei der Evakuierung nicht entfernt werden konnten, sich losreißen — oder daß in den Metallteilen okkludierte Luft durch die Erwärmung ausgetrieben wird. In beiden Fällen sinkt der Grad der Luftverdünnung, die Röhre wird zu weich. Die andere Ursache wirkt genau entgegengesetzt. Durch das Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Antikathode, vielleicht bei der Entstehung der Kathodenstrahlen an der Kathode selbst, werden Metallteilchen losgerissen und durch sie wird Luft absorbiert, d. h. der Luftverdünnungsgrad der Röhre steigt. Beide Ursachen arbeiten sich entgegen, es hängt von Zufälligkeiten ab, ob eine Röhre beim Gebrauche härter oder weicher werden wird. Nun ist man in neuerer Zeit dazu übergegangen, die Röntgenröhren beim Auspumpen zu erwärmen, um die am Glase haftenden Luftbläschen zu entfernen, man läßt auch beständig Strom durchgehen, um die okkludierten Gase zu vertreiben, und stellt so gleichmäßig gute Röhren her, die im allgemeinen beim Gebrauche nicht mehr weicher werden — das Härterwerden ist dagegen bis jetzt unvermeidlich geblieben.

Jede Röntgenaufnahme sollte aber mit einer gerade passenden, jedenfalls aber nicht zu harten Röhre gemacht werden. Die Expositionszeit wird dann zwar etwas länger ausfallen, man wird aber eine gute, kontrastreiche Aufnahme erhalten.

Es sind mehrere Methoden angegeben worden, um hart gewordene Röhren zu regenerieren.

Die Voltohm-Gesellschaft bringt eine Röntgenröhre mit Doppelkugel in den Handel (Fig. 230). Kathode und Antikathode befinden sich in der einen, die Anode in der zweiten Kugel. Bei Herstellung der Luftverdünnung wird nur die eine Kugel erhitzt, so daß die spätere Erwärmung

durch den Induktionsstrom, die nur in der anderen, größeren Kugel stattfindet, eine Verschlechterung des Vakuums nicht herbeiführen kann. Die kleinere, nicht erwärmte Kugel besitzt somit einen Luftvorrat durch an den Glaswänden anhaftende Luftblasen. Wird diese Luft beim Gebrauch durch Anwärmen losgelöst, so dringt sie in die andere Kugel, um das durch Verstäubung der Elektroden herabgesetzte Vakuum wieder auf den Normalzustand zu bringen.

Siemens & Halske benutzen eine Vakuum-Reguliervorrichtung, die darin besteht, daß gewisse Stoffe (Phosphor, Ätzkali u. dergl.) Gase absorbieren, sie bei Erwärmung aber abgeben. Eine Vergrößerung des Druckes kann dann leicht durch Erwärmen des in einer Glaskugel mit Rohransatz enthaltenen Stoffes durch Erwärmung der Kugel von außen mit einer Spiritus- oder Bunsenflamme bewirkt werden.

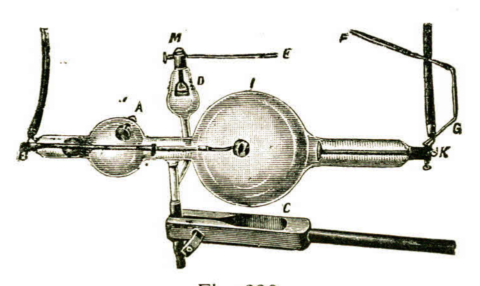
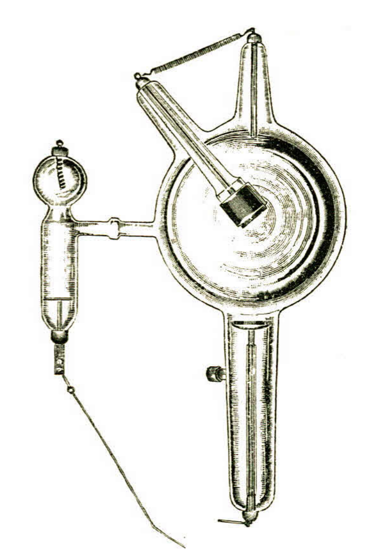


Fig. 230.


Fig. 231.

Besser ist die Methode, die C. H. F. Müller in Hamburg bei seiner Universalröhre mit selbsttätiger Regulierung des Vakuums anwendet (vergl. Fig. 229 u. 231). Bei ihr wird die Erwärmung der Gas abgebenden Substanz durch die Erwärmung bewirkt, welche die Entladungsströme besitzen. An die eigentliche Röntgenröhre ist eine Nebenröhre mittels eines kurzen Rohrstutzens angesetzt, in welchem sich eine mit einer Glimmerplatte bedeckte Kathode befindet, die ein bestimmtes Gasquantum abgibt und dadurch die Härte der Röhre herabsetzt, sobald der Strom dieser Kathode zugeführt wird. Der Vorteil dieser Methode gegenüber derjenigen mittels der oben angegebenen Chemikalien besteht darin, daß die Gase dauernd ausgeschieden bleiben und nicht nach kurzer Zeit wieder resorbiert werden. Das Hindurchleiten des Stromes durch die Nebenröhre erfolgt dadurch, daß man die mit der Kathode verbundene und in einem Scharnier drehbare Messingstange der Kathode der Hauptröhre bis auf

einen bestimmten Luftabstand nähert. Soll die Röhre zu Beckenaufnahmen dienen, so muß dieser Abstand 10 bis 11 cm betragen, bei Handaufnahmen nimmt man 5 bis 7 cm. Daß die Regulierung stattfindet, erkennt man daran, daß zwischen der Antikathode der Hauptröhre und der Spitze der Messingstange Funken übergehen. Die Herabsetzung des Härtegrades kann man dadurch beschleunigen, daß man den negativen Pol des Induktors direkt mit der Kathode der Nebenröhre verbindet und somit den Strom in seiner vollen Stärke hindurchschickt; zu diesem Zweck trägt der Messingstab eine Öse. Dabei ist indessen ratsam, mit mäßiger Stromstärke zu beginnen, da der Vorgang nur 2 bis 3 Sekunden dauert und man Gefahr läuft, die Röhre zu weich zu machen. Der größte Vorzug dieser Einrichtung besteht darin, daß die Reguliervorrichtung auch während des Betriebes der Röhre wirkt; sobald die letztere Neigung zum Härterwerden zeigt, springen sofort einige Funken auf die in geeignetem Abstande befindliche Messingstange über, wodurch der Härtegrad wieder automatisch auf die richtige Höhe gebracht wird. Man kann deshalb mit dieser Röhre die längsten Expositionen und Durchleuchtungen bei vollständig gleichbleibendem Härtegrad erzielen.

Auch bei der oben beschriebenen Voltohmröhre mit Doppelkugel ist eine auf denselben Prinzipien beruhende Reguliervorrichtung angewendet (Fig. 230).

Eine andere Methode, die von Dr. Max Levy und W. A. Hirschmann angewendet wird, besteht darin, daß der Röhre von außen eine beliebige Menge Luft zugeführt werden kann; so viel natürlich nur, daß das durch Luftverbrauch in der Röhre vergrößerte Vakuum wieder auf den normalen Zustand gebracht wird. Fig. 232 ist eine Abbildung der Levyschen Röhre, bei der eine künstliche Undichtigkeit durch einen gut verkitteten Schliff bewirkt werden kann. Diese Röhre ist nur für starken Gebrauch bestimmt, weil andernfalls zu viel Luft von außen eindringt.

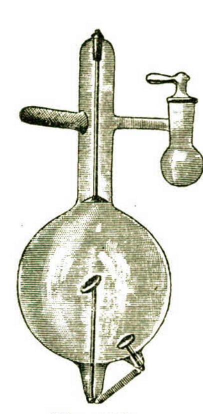


Fig. 232.

Bei der Hirschmannschen Röhre erfolgt der Luftzutritt durch ein Kapillarröhrchen, welches durch die Schraube *V* (Fig. 233) und ein Ventil geöffnet und geschlossen werden kann.

Ein anderes Mittel beruht auf elektrostatischen Prinzipien. Die Erhöhung des inneren Widerstandes der Röhren wird nämlich zum Teil durch die elektrostatische Ladung des Glases hervorgerufen. W. A. Hirschmann beseitigt diese Ladung, indem er von außen einen leitenden Belag *A* auf die Anode legt. Die sehr harte Röhre arbeitet dann sofort wieder normal (Fig. 234).

Die verbreitetste und wohl beste Vorrichtung zum Weichermachen hart gewordener Röntgenröhren ist die von Villard angegebene. Sie beruht auf osmotischer Wirkung. Die Metalle der Platingruppe haben nämlich die Eigenschaft, bei Weißglut Wasserstoff diffundieren zu lassen. Wird daher in einem Ansatzrohr der Röntgenröhre ein Platin- oder Palladiumdraht eingeschmolzen, der ins Innere der Röhre hineinragt, so dringt, wenn der Draht durch eine Spiritusflamme vorsichtig erwärmt wird, Wasserstoff in die Röhre und ermäßigt das Vakuum in derselben. Diese Regenerierung kann beliebig oft erfolgen. Eine derartige Reguliervorrichtung besitzt bei-

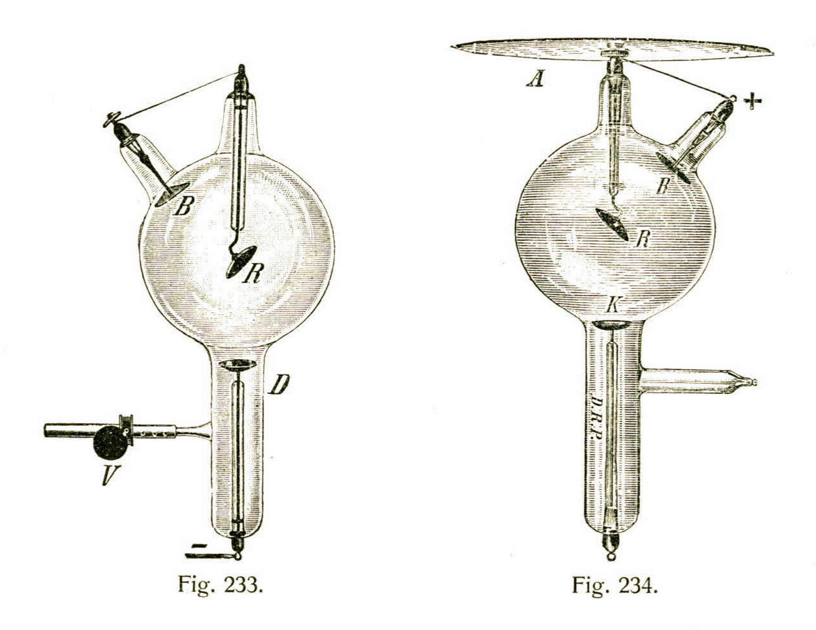


Fig. 233. Fig. 234.

spielsweise die in Fig. 224 gezeichnete und bereits beschriebene Kontraströhre mit Wasserkühlvorrichtung von Dr. Max Levy in Berlin.

Viele Röhren besitzen auch eine Vorrichtung zum Härtermachen, die dann zur Anwendung kommt, wenn die Röhre durch falsche Behandlung zu weich geworden sein sollte, oder wenn es sich bei vollständig normaler Behandlung beispielsweise darum handeln sollte, unmittelbar nach einer Handaufnahme eine Beckenaufnahme zu machen. Man kann zwar bei jeder Röhre das Vakuum dadurch erhöhen, daß man die Stromrichtung umkehrt. Dadurch wird, wie wir gesehen haben, die Platin-Antikathode zur Kathode, und die von ihr abstäubenden Teile absorbieren einen Teil der Luft, indem sie sich als dunkler Niederschlag an den Glaswänden ansetzen. Ein Vorteil für die Röhre ist das aber nicht.

Die in Fig. 229 und 231 abgebildete Müllersche Universalröhre besitzt eine besondere Vorrichtung zum Hartmachen. Man verbindet den positiven Pol des Induktors nicht wie gewöhnlich mit der Antikathode, sondern mit der spiralförmigen Elektrode der Nebenröhre, wobei aber darauf zu achten ist, daß die Messingstange nicht mit der Kathode der Hauptröhre in Verbindung stehe. Schaltet man dann den Strom in der Richtung wie früher ein, so wird das Metall, aus welchem die spiralförmige Elektrode besteht, in sehr starkem Grade gegen die Glaswandung der Nebenröhre zerstäubt und bindet nun in dieser veränderten Lage sofort einen Teil des Gasinhaltes der beiden Röhren. Die Zeitdauer, welche diese Bindung beansprucht, richtet sich ganz nach dem Grade der Weichheit der Röhre; ist diese sehr weich und soll sie besonders hart werden, so kann dies bis zu fünf Minuten dauern. Sodann wird der Leitungsdraht wieder zu der Anode der Hauptröhre hinübergelegt und die Röhre ist zur Beckenaufnahme fertig. Selbstverständlich ist dabei, daß die obige Manipulation zu wiederholen ist, wenn die einmalige Umlegung des positiven Leitungsdrahtes nach der spiraligen Elektrode hin noch nicht den genügenden Erfolg hatte und daß anderseits, wenn die Röhre durch eine zu lange Benutzung dieser Elektrode zu hart geworden sein sollte, dieselbe durch Anwendung der früher beschriebenen Reguliervorrichtung sofort wieder weicher gemacht werden kann.

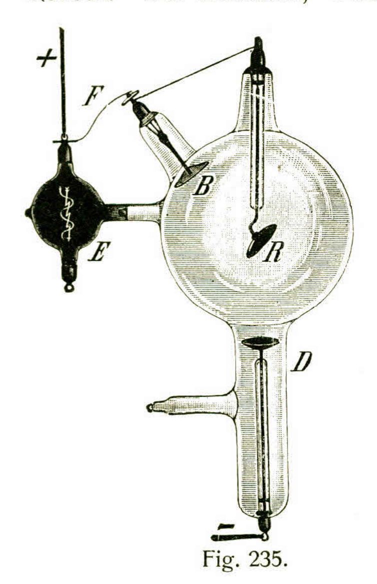


Fig. 235.

Eine ähnliche Ausführungsform zum Härtermachen zeigt die in Fig. 235 dargestellte Röhre von W. A. Hirschmann. Will man die Röhre entluften, so trennt man die Verbindung zwischen Antikathode und Hilfselektrode und läßt den Strom einige Sekunden hindurchgehen. Die zerstäubten Elektrodenteile absorbieren dann etwas von der Luft und das Vakuum wird verbessert.

Bei der Gundelach-Dessauerschen Röhre (Fig. 236) erfolgt die Regulierung des Härtegrades in ganz anderer Weise. Durch eigenartige Anordnung der mit der Antikathode gewöhnlich leitend verbundenen Anode läßt sich erreichen, daß ein und dieselbe Röhre ohne Veränderung des Vakuums ganz verschiedene Strahlen aussendet, je nachdem man die Antikathode allein oder mit der Anode gemeinschaftlich als positive Zuleitung benutzt. Im ersteren Falle sendet die Röhre durchdringungskräftigere Strahlen aus als im letzten Falle.

Behufs Regulierung der Röhre bringen Gundelach-Dessauer zwischen die Antikathode und die Hilfsanode einen regulierbaren Funkenstreckenwiderstand an, dessen Größe durch Drehen an einem isolierten Griff verstellt werden kann. Ist die Funkenstrecke groß gestellt, so erhält die Antikathode allein Strom und die Röhre wirkt hart; ist die Funkenstrecke sehr klein resp. gleich Null, so ist die Röhre weich und sendet stark chemisch wirkende Strahlen aus. Zwischen beiden Grenzen läßt sich während des Betriebes jede Zwischenstufe mit größter Feinheit einstellen. Außerdem ist an dieser Röhre die Antikathode von einem Glasrohr umgeben, um durch die durch die Kathodenstrahlen erfolgende statische Ladung der Glasröhre eine Abstoßung und Konzentration des Kathodenstrahlenbündels zu einem gradlinig durch die Achse der Glasröhre zur Anti-

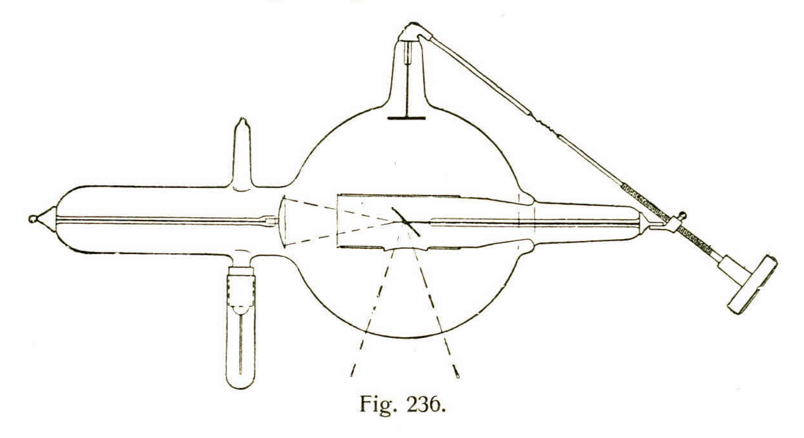


Fig. 236.

kathode führenden Strahl herbeizuführen. Die Ausgangsstelle der X-Strahlen ist daher mehr punktförmig als sonst, und damit wird die Schärfe der Bilder nicht unwesentlich erhöht.

Die Regulierröhre nach Dr. Wehnelt, die von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen in den Handel gebracht wird und deren Härtegrad von Hand beliebig eingestellt werden kann, benutzt als Regulierprinzip die Erscheinung, daß durch Änderung des dunklen Kathodenraumes eine Änderung des Röhrenwiderstandes und damit der Qualität der ausgesandten Strahlen bewirkt werden kann.

Die Konstruktion der Röhre (Fig. 237) ist derart, daß sich innerhalb des Kathodenhalses ein verschiebbarer Glascylinder befindet, der den Kathodenspiegel mehr oder weniger überdeckt und dadurch den Röhrenwiderstand ändert.

Die Verschiebung des Glascylinders erfolgt durch leichtes Klopfen an die Röhre. Als großer Vorteil dieser neuen Röhre wird angeführt, daß

das Vakuum der Röhre durch die Regulierung nicht verändert wird und diese selbst in so weiten Grenzen möglich ist, daß die Röhre sowohl für Hand- als auch für Beckenaufnahmen verwendbar ist.

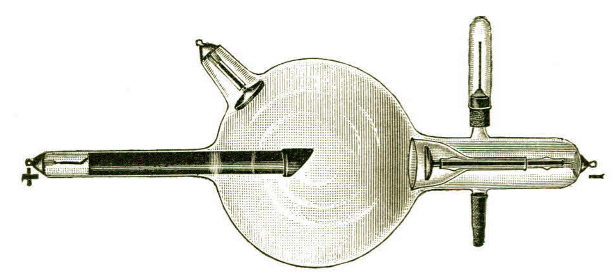


Fig. 237.

Endlich sei noch die Weltrekord-Duplex-Röntgenröhre (Fig. 238) von C. H. F. Müller in Hamburg erwähnt, die sich dadurch auszeichnet, daß sie ebenfalls ohne jede Vakuumsregulierung ohne weiteres zwei verschiedene Strahlenarten, nämlich sowohl harte als weiche Röntgenstrahlen liefern kann. In derselben sind, wie die Abbildungen zeigen, zwei Kathoden von ungleicher Form angebracht, und hierdurch allein ist es erreicht, daß man bei Benutzung der einen Kathode harte, bei Anwendung der anderen Kathode weiche Röntgenstrahlen erhält. Als Anode dient in beiden Fällen die Antikathode.

Demnach kann man also die eine Seite der Röhre direkt für die Durchleuchtung starker Körperteile, die andere Seite dagegen ohne weiteres

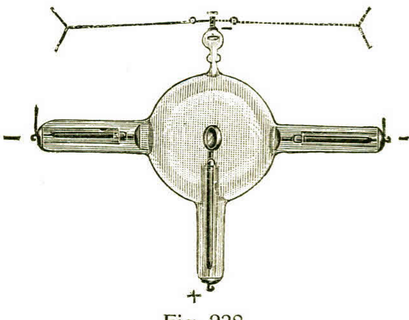


Fig. 238.

für dünne Objekte verwenden. Ferner dürfte aber auch bei der therapeutischen Benutzung der Röntgenstrahlen, je nach Art der zu bestrahlenden Affektion, diese Doppelseitigkeit der Röhre von großem Vorteil sein, insofern sie in den meisten Fällen eine genauere Einregulierung der Röhre auf eine bestimmte Härte ersparen wird.

Um jedoch eventuell auch dies letztere zu ermöglichen, ist schließlich an der Röhre auch noch die bereits beschriebene Müllersche Vorrichtung zur automatischen Regulierung des Vakuums angebracht.

Durch längeren, fortgesetzten Gebrauch wird schließlich jede Röntgenröhre unbrauchbar. Man kann sie zwar von neuem auspumpen, aber meist lohnt diese Mühe nicht, weil sich an der Innenseite ein Niederschlag von zerstäubtem Elektrodenmaterial angesetzt hat, der die Strahlen zu sehr absorbiert. Die zu wählende Größe einer Röhre richtet sich im allgemeinen nach der Funkenlänge des Induktors. In den meisten Fällen werden Induktoren von 15 bis 25 cm Funkenlänge angewendet. Röntgenspezialisten, große Krankenhäuser, Kliniken etc. benutzen Induktoren von 40 bis 75 cm Schlagweite. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin fertigt die Röhren in sieben Größen und empfiehlt dieselben für folgende Induktoren zu benutzen:

Kugeldurchmesser der Röhre . . .	5,5	7,5	8,5	11	14	17	25	Centimeter
Funkenlänge des Induktors	3	10	20	30	50	70	100	Centimeter

Es empfiehlt sich, lieber eine zu große, als eine zu kleine Röhre zu verwenden. Größere Induktoren als mit 75 cm Funkenstrecke sind im allgemeinen unnötig, da sie nicht voll ausgenutzt werden können. Ihr Vorteil würde höchstens auf den intensiven Einzelentladungen und der längeren Lebensdauer der immer härter werdenden Röhren beruhen. Auch hat die Größe des Induktors keinen wesentlichen Einfluß auf die Güte der Durchleuchtungsbilder, diese sind in viel höherem Grade von der Güte der Röhre und der Beherrschung der photographischen Technik abhängig.

Naturgemäß ist die Regulierfähigkeit kleiner Apparate eine außerordentlich viel geringere als diejenige größerer Induktoren. Da man bei letzteren viel feinere Abstufungen bei der Zumessung der Funken für die Röhre erzielen kann, so werden die Röhren außerordentlich geschont, während bei kleineren Induktoren die Röhren auf Kosten ihrer Lebensdauer außerordentlich beansprucht werden.

Als Unterbrecher kommen hauptsächlich die Quecksilberstrahl- und die Flüssigkeits-Unterbrecher in Betracht, wegen der Ruhe des Fluoreszenzbildes und der kürzeren Expositionsdauer.

Die Quecksilberstrahl-Unterbrecher besitzen eine gute Regulierfähigkeit in Bezug auf Funkenlänge, Unterbrechungszahl und Stromschlußdauer, unabhängig voneinander und von der sekundären Belastung durch die Röntgenröhre. Bei Anwendung des Wehnelt-Unterbrechers empfiehlt sich die An-

schaffung eines solchen mit mehreren Stiften und einer Primärspule mit veränderlicher Selbstinduktion (vergl. S. 98 bis 102).

Die Benutzung eines Loch-Unterbrechers ist bei allen Spannungen zulässig und gestaltet sich damit auch die ganze Einrichtung am einfachsten. Man kann mit einer einzigen Lochgröße und nur einer Primärwicklung eine genügende Regulierung durch bloße Benutzung eines Regulierwiderstandes erreichen (vergl. S. 107).

Wird der Induktor direkt von einem Netz mit 110 oder 220 Volt betrieben, so macht sich, besonders im letzteren Falle, der Schließungsfunken recht unangenehm bemerkbar. Besonders ist dies bei weichen Röhren, die, wie wir gesehen haben, sonst recht vorteilhaft sind, der Fall. Der durch den Schluß des Stromes induzierte Sekundärstrom ist natürlich dem Öffnungsstrome entgegengesetzt gerichtet und wirkt auf die Lebensdauer der Röhre genau so schädlich wie eine falsche Stromrichtung. Am stärksten tritt dieser Übelstand bei Anwendung eines Wehnelt-Unterbrechers bei Wechselstrombetrieb hervor. Man erkennt den Durchgang des Schließungsfunken an einer Röntgenröhre leicht daran, daß die grünleuchtende Hälfte derselben nicht gleichmäßig grün, sondern mit Schattenfiguren durchsetzt ist. Am einfachsten werden die Schließungsfunken dadurch von der Röhre ferngehalten, daß man ihr eine Funkenstrecke vorschaltet, die von dem stärkeren Öffnungsstrome ohne Schwierigkeit übersprungen wird, für die schwächeren Schließungsströme aber ein unüberwindbares Hindernis bildet.

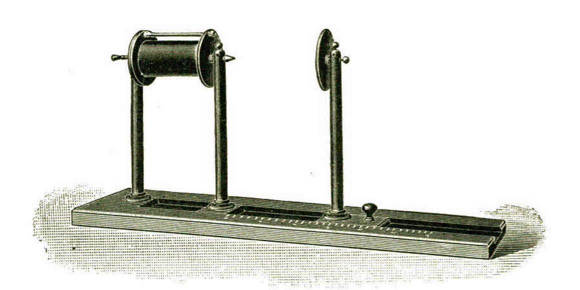


Fig. 239.

Die Firma Siemens & Halske in Berlin hat zur Beseitigung der schädlichen Schließungsinduktionsfunken, besonders bei Anwendung eines Wehnelt-Unterbrechers bei Wechselstrombetrieb, einen Funkenmesser mit drei Elektroden konstruiert (Fig. 239), derart, daß die eine Funkenstrecke der Röhre vor, eine zweite der Röhre parallel geschaltet ist. Die vorgeschaltete veränderliche Funkenstrecke ist in einem Rohr etwas abgedichtet eingeschlossen, um das störende Geräusch und Licht der überspringenden

Funken zu dämpfen und die Belästigung durch Ozonbildung möglichst zu vermindern. Fig. 240 zeigt das Schaltungsschema einer Röntgeneinrichtung mit zweiteiligem Wehnelt-Unterbrecher zum Anschluß an ein Wechselstromnetz von 65 bis 125 Volt unter Benutzung der dreiteiligen Funkenstrecke.

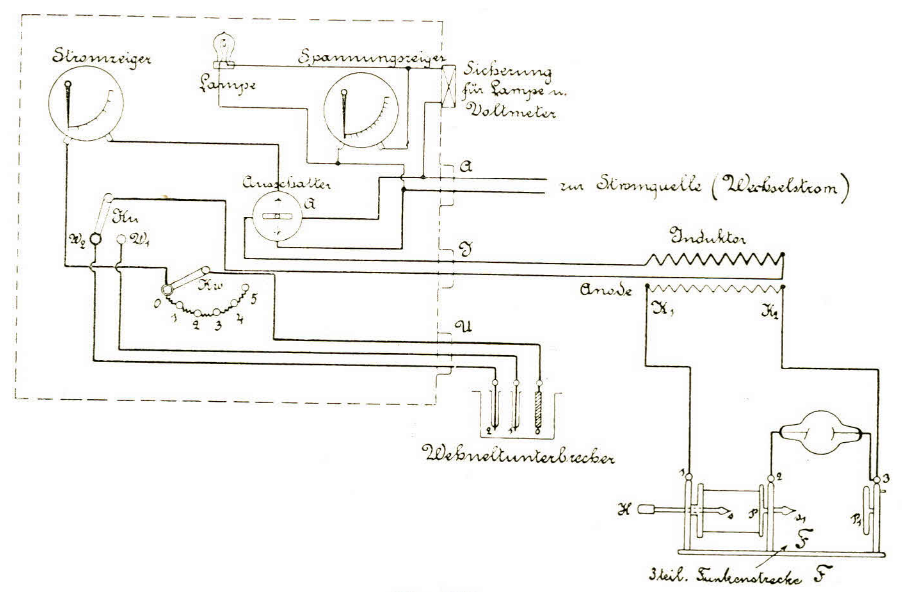


Fig. 240.

2. Drosselröhren.

Da die Anwendung einer Funkenstrecke immerhin einige Unannehmlichkeiten mit sich bringt, so hat man die dieser anhaftenden Übelstände durch die Konstruktion von Drosselröhren (Fig. 241) zu vermeiden gesucht.

Dieselben beruhen auf der von Puluj festgestellten Tatsache, daß elektrische Entladungen in einem Vakuumrohr, das eine freie und eine eingeschlossene Elektrode enthält, nur von der eingeschlossenen zur freien Elektrode hin erfolgen, wahrscheinlich, weil sich dem Strom in entgegengesetzter Richtung ein größerer Widerstand entgegenstellt. Die Drosselröhre, die zweckmäßig auch eine Regeneriervorrichtung enthält, wird der Röntgenröhre vorgeschaltet, derart, daß die freie Elektrode an die Röntgenröhre angehängt wird.

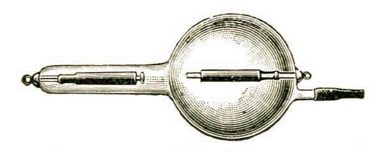


Fig. 241.

3. Mechanische Vorrichtung zur Unterdrückung der Schließungsinduktionsfunken.

Eine Vorrichtung, welche die Schließungsfunken auf mechanischem Wege unterdrückt, ist in neuerer Zeit von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen konstruiert worden; dieselbe ist aber nur bei Benutzung eines Quecksilberstrahl-Unterbrechers anwendbar. Sie besteht darin, daß der sekundäre Stromkreis während des Verlaufs des primären Schließungsstromes geöffnet ist und erst kurz vor der Stromöffnung, also dann, wenn das magnetische Feld auf seinen Maximalwert gekommen ist und einen konstanten Wert besitzt, geschlossen wird. Umgekehrt wird der sekundäre Stromkreis bereits vor der primären Stromschließung geöffnet, nachdem die oscillatorischen Schwingungen des Kondensators auf ein Minimum abge-

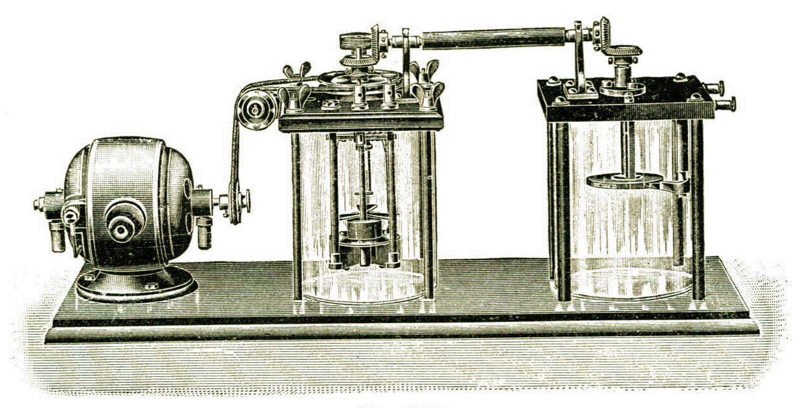


Fig. 242.

klungen sind, für die Röntgenröhre also nicht mehr in Betracht kommen. Die Vorrichtung selbst ist, wie aus der Abbildung (Fig. 242) ersichtlich ist, durch Winkelräder und eine Welle aus isolierendem Material direkt mit dem Quecksilberstrahl-Unterbrecher gekuppelt und besteht aus einer, auf der senkrechten Welle sitzenden Ebonitscheibe, welche an ihrer Peripherie ebensoviele Metallsegmente trägt, als der Unterbrecher Flügel besitzt. Die Metallsegmente sind sämtlich mit der Achse leitend verbunden, von der die Leitung weiter zu der einen Außenklemme führt. Die andere Klemme steht in direkter Verbindung mit einer Metallbürste, welche federnd an der Peripherie der vorerwähnten Scheibe anliegt. Berührt die Bürste eins der Metallsegmente, so ist der sekundäre Stromkreis geschlossen, liegt sie auf Ebonit, so ist er unterbrochen.

Die Einstellung der Unterbrechungsvorrichtung für den sekundären Strom, in Bezug auf den Unterbrecher für den primären Strom, muß nun

so erfolgen, daß die Bürste auf der Ebonitscheibe grade anfängt, ein Metallsegment zu berühren, wenn ein Flügel des Unterbrechers im Begriff steht, den Quecksilberstrahl abzuschneiden, und umgekehrt, muß der Kontakt zwischen Bürste und Metallsegment bereits aufgehoben sein, wenn der Flügel im Unterbrecher den Quecksilberstrahl nicht mehr hindert, auf den Metallteller zu treffen. Sind diese Bedingungen erfüllt, so sind natürlich die Schließungsfunken für die Röntgenröhre nicht mehr vorhanden. Die Isolation der ganzen Vorrichtung gegen Erde ist vorzüglich und die aktiven Teile derselben laufen unter Petroleum oder Alkohol.

4. Stative für Röntgenröhren.

Beim Gebrauch faßt man die trockene und von Staub sorgfältig befreite Röntgenröhre mit einer Klammer aus Holz oder anderem, nichtleitenden Material an dem cylinderischen Teile derselben und verbindet die Elektroden in der bereits erörterten Weise mit dem Induktor. Die Klammern selbst müssen durch ein Stativ gehalten werden, das so eingerichtet sein soll, daß man die Röhre in jede gewünschte Lage bringen kann.

Man hat Bodenstative und Wandstative, erstere sind jedenfalls bequemer und allgemeiner anwendbar.

Fig. 243 ist ein Bodenstativ von Max Kohl in Chemnitz, bei welchem durch eine einzige Schraube die Feststellung und Lockerung des die Klemme tragenden Armes bewirkt wird; das Stativ ist äußerst stabil und doch von mäßigem Gewicht. Mit der Klemme können alle vorkommenden Größen der Röntgenröhren eingespannt werden.

Die Fig. 244 zeigt ein ähnliches Stativ von Dr. Max Levy in Berlin, Fig. 245 ein Wandstativ der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin, wie es bei beschränktem Raume zur Anwendung gelangt.

Zur Verbindung der Röhre mit dem Induktor benutzt man biegsame Leitungsschnüre mit sehr guter Isolation (Hochspannungskabel). Dieselben müssen so angeordnet werden, daß selbst bei der größten Spannung im Induktor kein Überspringen von Funken zwischen den Leitungsschnüren, oder von diesen nach der Röntgenröhre stattfinden kann. Durch solche nach der Röhre überspringende Funken könnte die Röhre leicht durchschlagen werden, wodurch sie völlig unbrauchbar wird. Um die Leitungsschnüre in angemessener Entfernung von der Röhre zu halten, ist auf dem die Klemme tragenden Stiel eine verstellbare Leiste angebracht.

Die Röntgenstrahlen werden entweder zur Durchleuchtung (Radioskopie) oder zur photographischen Aufnahme (Radiographie) verwendet.

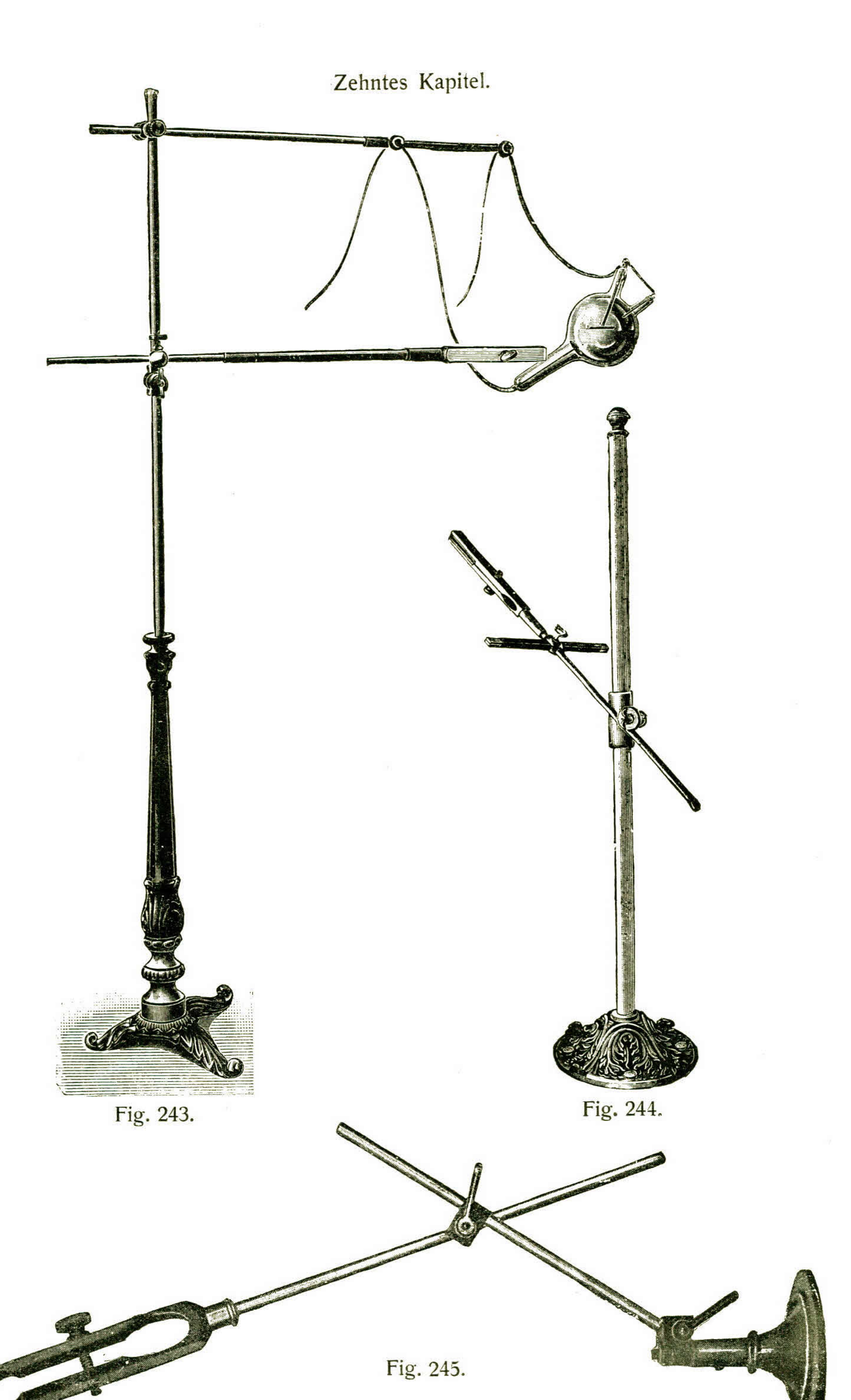


Fig. 243.

Fig. 244.

Fig. 245.

I. Radioskopie.

5. Fluoreszenzschirme.

Bei der Radioskopie wird der zu durchleuchtende Gegenstand zwischen die Röntgenröhre und einen Fluoreszenzschirm gebracht. Derselbe besteht aus einem, über einen Holzrahmen gespannten Kartonpapierbogen, der mit einer Schicht Bariumplatincyanür bedeckt ist. Die unserem Auge unsichtbaren Röntgenstrahlen verwandeln sich beim Auftreffen auf diesen Schirm in von unserem Auge wahrnehmbare Lichtstrahlen. Man bringt den zu durchleuchtenden Gegenstand oder Körperteil in eine Entfernung von 10 bis 15 cm an die Röhre und hält den Schirm, mit der fluoreszierenden Schicht nach dem Beobachter hin, dicht an den Körper heran. An den von den Röntgenstrahlen getroffenen Stellen leuchtet der Schirm hell auf, Fleischteile markieren sich nur wenig, Knochen erscheinen, je nach ihrer Dicke, mehr oder weniger dunkel; doch kann man die Tätigkeit des Herzens, die Auf- und Niederbewegung des Zwerchfelles beim Atmen noch recht gut erkennen. Natürlich muß solche Beobachtung in einem absolut dunklen Raume vorgenommen werden, da das Auge von etwa vorhandenem Tages- oder künstlichen Licht viel zu sehr geblendet wird, um die verhältnismäßig schwachen Fluoreszenzlichter wahrzunehmen.

Um ein Verbrennen der Fingernägel und Hände des Beobachters zu verhüten, werden die Leuchtschirme neuerdings mit Schutzvorrichtungen versehen. Dieselben bestehen z. B. nach dem Vorschlage von Dr. Patzelt aus schalenförmigen, mit Griffen versehenen Metallstücken, die an dem Holzrahmen des Leuchtschirmes angeschraubt werden.

6. Fluoroskope.

Zu einer provisorischen Untersuchung im unverdunkelten Raume kann man sich der Fluoroskope oder Kryptoskope bedienen. Dieselben bestehen aus einem lichtdichten Gehäuse, dessen Boden durch einen Fluoreszenzschirm gebildet wird. Diesem gegenüber befindet sich eine Öffnung zum Hineinsehen, deren Ränder sich möglichst dicht an das Gesicht anlegen sollen und deshalb meist mit Pelzwerk bekleidet sind. Fig. 246 zeigt ein solches Kryptoskop, Fig. 247 ein ebensolches zum Transport zusammenlegbares.

Da die Röntgenstrahlen von der Antikathode ausgehen und sich gradlinig fortpflanzen, so ist jedes Bild, das von einem Gegenstande auf dem Fluoreszenzschirm entsteht, eine Centralprojektion, gleichsam ein Schattenbild des Gegenstandes auf dem Schirme. Da die Strahlen divergieren, so erscheint das Bild auf dem Schirm stets größer als der Gegenstand selbst

ist, und die außenliegenden Partien in einem größeren Maßstabe als die in der Mitte, d. h. das Bild ist etwas verzerrt. Es ist deshalb gar nicht leicht, die wirkliche Lage, z. B. einer Gewehrkugel in der Brust, zu bestimmen, auch wenn man die Durchleuchtung in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen vornimmt. Leichter ist dies mit einem Apparat für stereoskopische Röntgenbilder auszuführen.

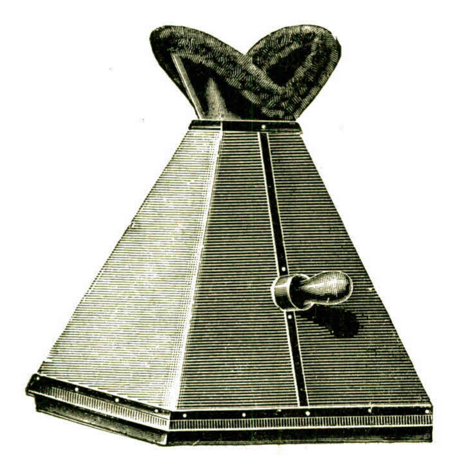


Fig. 246.

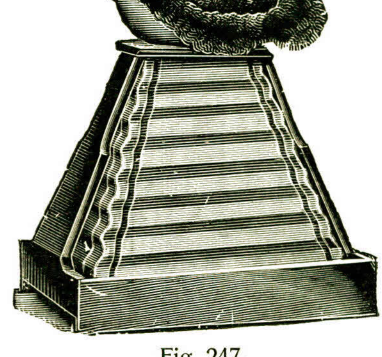


Fig. 247.

7. Stereoskopische Röntgenbilder.

Die Theorie des stereoskopischen Sehens verlangt, daß die beiden Bilder, welche auf der Netzhaut unserer Augen vom betrachteten Objekt entstehen, unter sich verschieden sind, d. h. zwei Centralprojektionen von zwei verschiedenen Fluchtpunkten darstellen. Nun können zwar wegen der Unsichtbarkeit der Röntgenstrahlen die geforderten zwei Bilder nicht wie sonst von unseren Augen selbst erzeugt werden, man kann aber zwei, in einem gewissen horizontalen Abstande befindliche Röntgenröhren abwechselnd aufleuchten lassen und so die erforderlichen zwei differierenden Centralprojektionen desselben Gegenstandes auf dem Fluoreszenzschirme erzeugen. Man kann ferner durch einen einfachen Mechanismus bewirken, daß jedes Auge nur das eine, ihm zugedachte Bild zu sehen bekommt. Erfolgt dann der Wechsel der Bilder sehr schnell, so werden wir, infolge der Trägheit unseres Gesichtssinnes, beide Bilder — jedes mit einem Auge — gleichzeitig zu sehen glauben, d. h. wir sehen nur ein Röntgenbild, dies aber körperlich.

Einen Apparat dieser Art stellen Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen her, indem sie eine Röntgenröhre mit zwei um Augenabstand von-

einander entfernten und metallisch miteinander verbundenen Antikathoden (Fig. 248) benutzen und durch eine unter Petroleum rotierende, mit einem Quecksilberstrahl-Unterbrecher zwangsläufig verbundene Kontaktvorrichtung die hochgespannten Ströme eines Induktoriums in der Weise zuführen, daß Röntgenstrahlen abwechselnd von den beiden Antikathoden ausgehen (Fig. 249). Mittels einer ebenfalls mit dem Unterbrecher gekuppelten Blende wird dann bewirkt, daß jedes Auge des Beobachters nur das von der entsprechenden Antikathode auf dem Schirm erzeugte Schattenbild zu sehen bekommt.

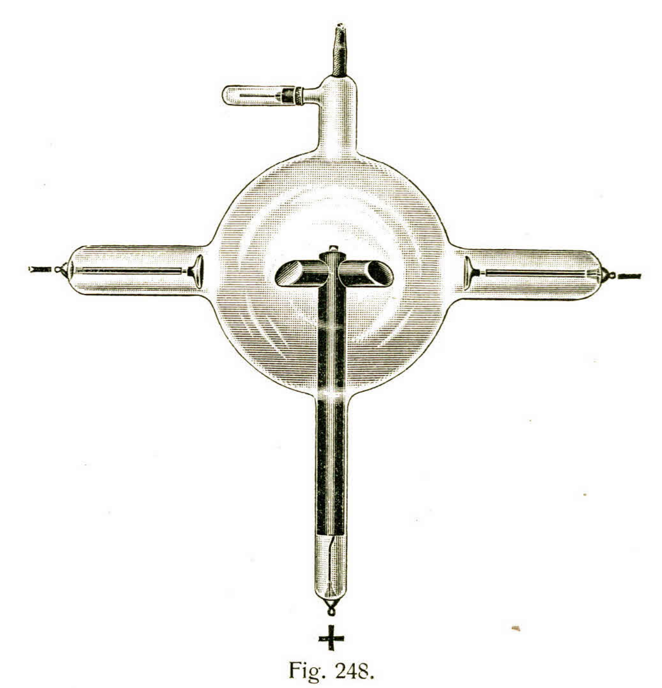


Fig. 248.

Die Einstellung des Stroboskops muß derart sein, daß mit dem Aufleuchten des rechten Teils der Antikathode das Gesichtsfeld des linken Auges und mit dem Aufleuchten der linken Antikathode das Feld des rechten Auges vom Beschauer zur Durchsicht frei wird, was durch Verstellen eines Differentialgetriebes am Stroboskop während des Betriebes vorgenommen werden kann.

Diese Umschaltevorrichtung zur direkten stereoskopischen Wahrnehmung von Durchleuchtungen kann auch zur Unterdrückung des Schließungsstromes bei einfachen Röntgenröhren benutzt werden. Man braucht zu diesem Zweck nur die Ableitungsklemmen, die mit den Bürsten der Vorrichtung

in Verbindung stehen, durch einen Kupferbügel kurz zu schließen und von diesem aus eine Leitung zur Röhre zu führen.

Im übrigen sind die Verbindungen genau dieselben wie bei der im Abschnitt 3 dieses Kapitels beschriebenen mechanischen Vorrichtung zur Unterdrückung des Schließungsinduktionsstromes.

Es ist ohne weiteres verständlich, daß jetzt der sekundäre Strom, statt wie bei Verwendung einer Stereoskopröhre, abwechselnd durch die eine oder andere Hälfte derselben zu fließen, jetzt durch den Kurzschluß des Kupfer-

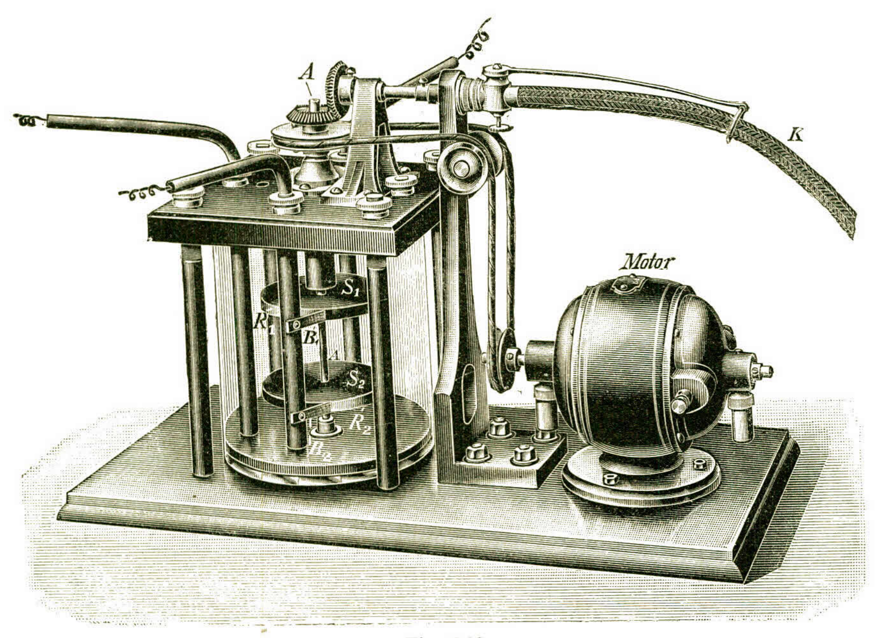


Fig. 249.

bügels bei beiden Stromstößen durch die einfache Röhre geht. Der in den Induktor hineingeschickte Effekt wird also in jedem Fall voll ausgenützt.

Ähnlich ist das Caldwellsche Röntgenstereoskop (Fig. 250), bei welchem ein Loch-Unterbrecher und zum Betriebe Wechselstrom angewendet wird. Die Röhre hat zwei Antikathoden und die Blende wird durch einen kleinen Synchronmotor bewegt, der von derselben Wechselstromquelle wie der Induktor gespeist wird, daher synchron mit den Entladungen in der Röhre den abwechselnden Durchblick gestattet.

Wenn auch infolge der Benutzung von nur einer Röhre die Intensität beider Bilder ziemlich gleich wird, so ist doch die Haltbarkeit einer solchen Doppelröhre nur eine geringe, weil für die eine Antikathode der Entladungs-

strom stets verkehrt gerichtet ist und eine starke Zerstäubung derselben eintreten muß. Besser ist in dieser Hinsicht die Anordnung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin, die für ihren stereoskopischen Röntgenapparat zwei gesonderte Röntgenröhren und zwei Funkeninduktoren anwendet.

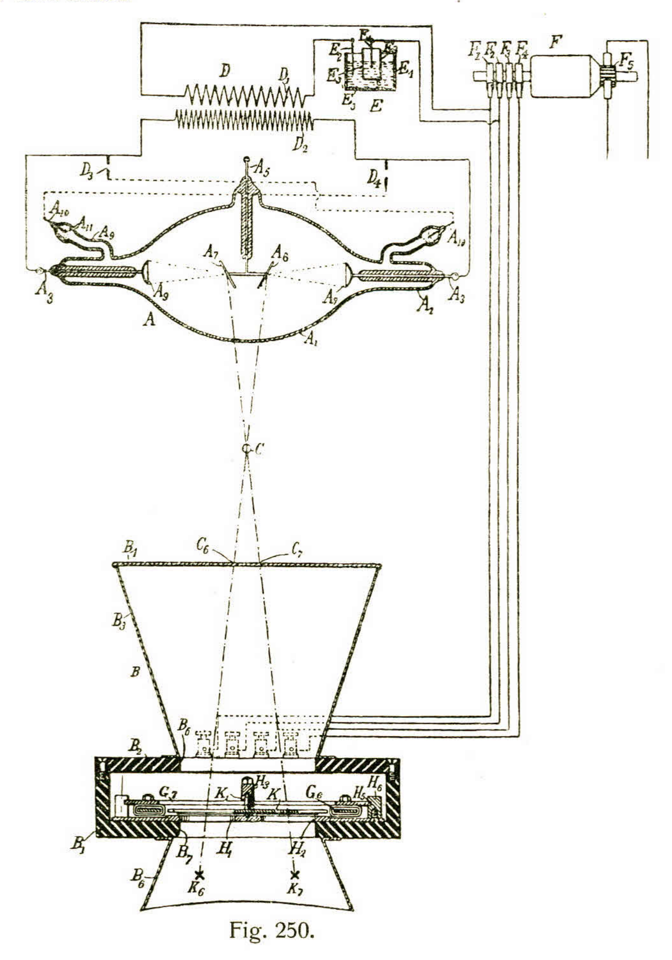


Fig. 250.

In Fig. 251 ist dieser Apparat schematisch dargestellt.

$J_1 J_2$ sind zwei Funkeninduktoren von etwa 30 cm Schlagweite, welche zum wechselweisen Betriebe der Röhren $R_1 R_2$ dienen. Dieser Wechsel wird erreicht durch das Einsetzen zweier voneinander isolierter Ringe $S_1 S_2$ mit je zwei Zähnen in den S. 86 bis 88 beschriebenen Turbinen-Unterbrecher. Jeder Ring steht mit der primären Wicklung eines Funkeninduktors in Verbindung, derart, daß bei einer Umdrehung des Unterbrechers beide Funken-

induktoren zwei Stromstöße in wechselnder Reihenfolge empfangen, deren Richtung durch die angeordneten Stromwender W_1 W_2 eingestellt werden kann. Somit entstehen auch bei jeder Umdrehung des Unterbrechers je zwei Röntgenbilder in den Punkten B_1 B_2 des Fluoreszenzschirmes F vom Gegenstande G, und zwar in abwechselnder Reihenfolge. — Durch ein Winkelräderpaar wird die Drehung des Unterbrechers auf die horizontale Welle a, von dieser mittels des Differentialgetriebes d auf die biegsame

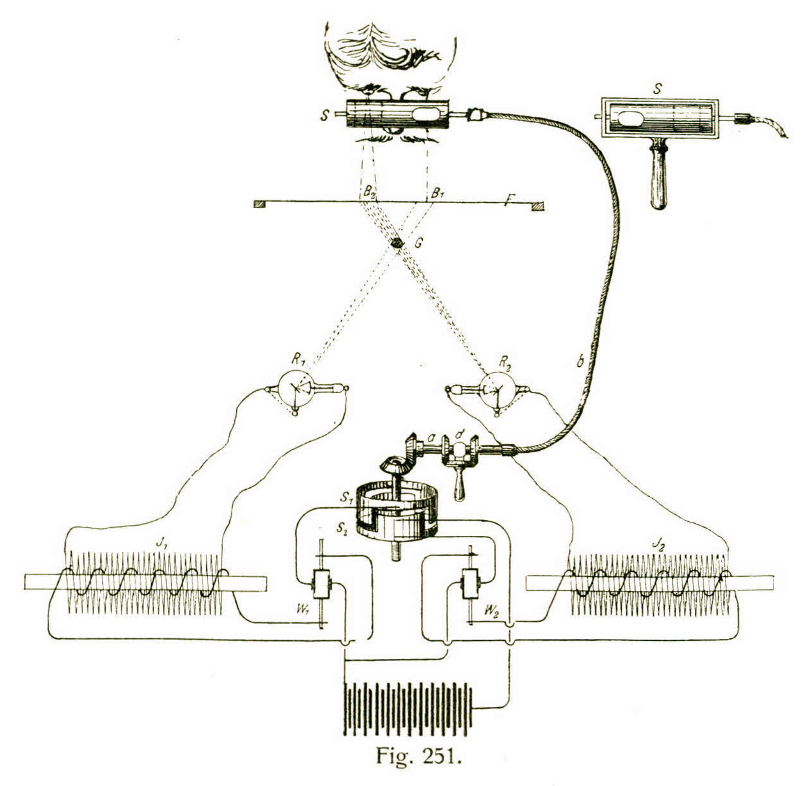


Fig. 251.

Welle b und schließlich auf das Stroboskop s übertragen. Eine Übersetzung findet hierbei nicht statt, vielmehr haben die Unterbrecherwelle und das Stroboskop genau die gleiche Winkelgeschwindigkeit.

Das Stroboskop s besteht aus einem um seine Längsachse drehbaren Rohr, das in der Entfernung der Augenachsen in zwei aufeinander rechtwinklig stehenden Richtungen durchbohrt ist. Rotiert dieses Rohr vor den Augen, so wird abwechselnd für das rechte und linke Auge der Durchblick frei. Damit dies in den gleichen Momenten erfolge, in welchen auf dem Fluoreszenzschirm die Bilder entstehen, kann die biegsame Welle mit dem Stroboskop mittels des Differentialgetriebes d um einen beliebigen

Winkel gedreht werden. Der stereoskopische Anblick, oder die Vereinigung beider Bilder zu einem körperlichen Effekt, wird natürlich nur dann eintreten, wenn man das von der rechts liegenden Röhre entworfene Bild mit dem linken Auge, das von der linken Röntgenröhre mit dem rechten Auge zu sehen bekommt. Die Einstellung des Stroboskops erfolgt am einfachsten nach Inbetriebsetzung des Apparates durch direkte Beobachtung der Bilder durch das Stroboskop und allmähliche Verschiebung der Phase desselben durch das Wendegetriebe.

Fig. 252 gibt ein Bild des Unterbrechers nebst dem damit verbundenen Stroboskop zu dem von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellten stereoskopischen Röntgenapparate. Dieser Apparat eignet sich vorzüglich dazu, die Lage von Fremdkörpern im menschlichen

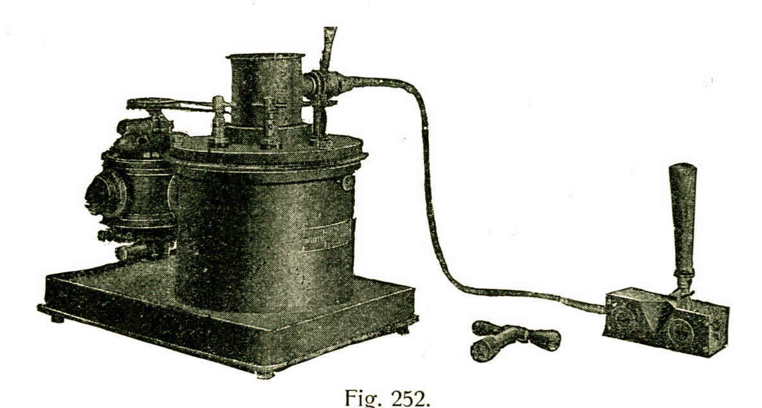


Fig. 252.

Körper festzustellen. Bei sehr starken Objekten, die schwer durchleuchtet werden können, leidet die Klarheit des Effektes am Mangel an Details im Bilde.

Der einzige Nachteil derartiger Apparate ist ihr sehr hoher Preis, der einer Verbreitung derselben hindernd im Wege stehen dürfte. Da aber die Bestimmung der Lage von Fremdkörpern vor operativen Eingriffen von größter Wichtigkeit ist, ebenso vergleichende Messungen an inneren Organen bei ein und derselben Person vorgenommen werden müssen, um zahlenmäßige Veränderungen an den zu untersuchenden Organen festzustellen, so ist ein hierzu geeigneter billiger Meßapparat von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

8. Meßstative.

Ein solches Meßstativ (Fig. 253 und 254) nach Dr. Aug. Hoffmann in Düsseldorf wird von Max Kohl in Chemnitz hergestellt. Dasselbe besteht aus einem viereckigen Rahmen, welcher sich zwischen zwei

senkrechten Säulen nach oben und unten verschieben läßt. Am oberen Ende sind die Säulen durch eine Querpfoste, am unteren durch einen Bretterboden verbunden. Auf den Bretterboden stellt sich die zu untersuchende Person oder nimmt auf einem darauf gestellten Schemel Platz.

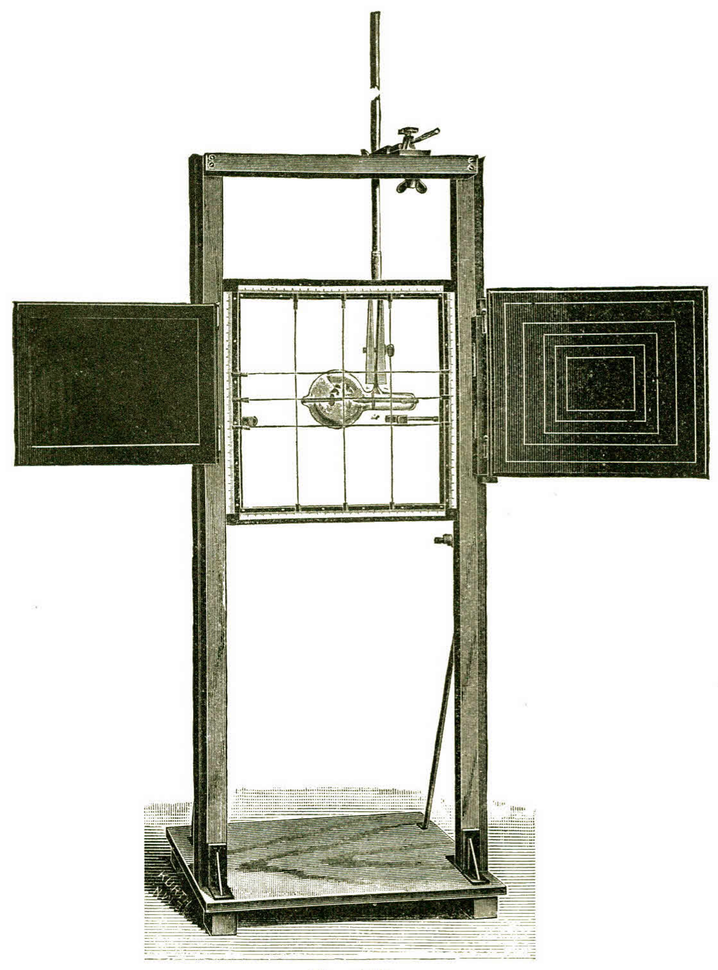


Fig. 253.

Hierdurch wird erreicht, daß das Stativ fest und unverrückbar steht. Der bewegliche Rahmen trägt auf allen vier Seiten Schienen aus Messing, auf denen hakenförmige, die Schienen umfassende Messingschieber gleiten. Je zwei gegenüberliegende Schieber sind durch einen mittels einer Spiralfeder straff gespannten, 1,5 mm starken Stahldraht verbunden. Von diesen verschiebbaren Drähten sind in horizontaler und vertikaler Richtung je drei

vorhanden. Neben den Schienen sind Millimetermaßstäbe angebracht, so daß man die Entfernung der parallel gespannten Drähte voneinander stets ablesen kann.

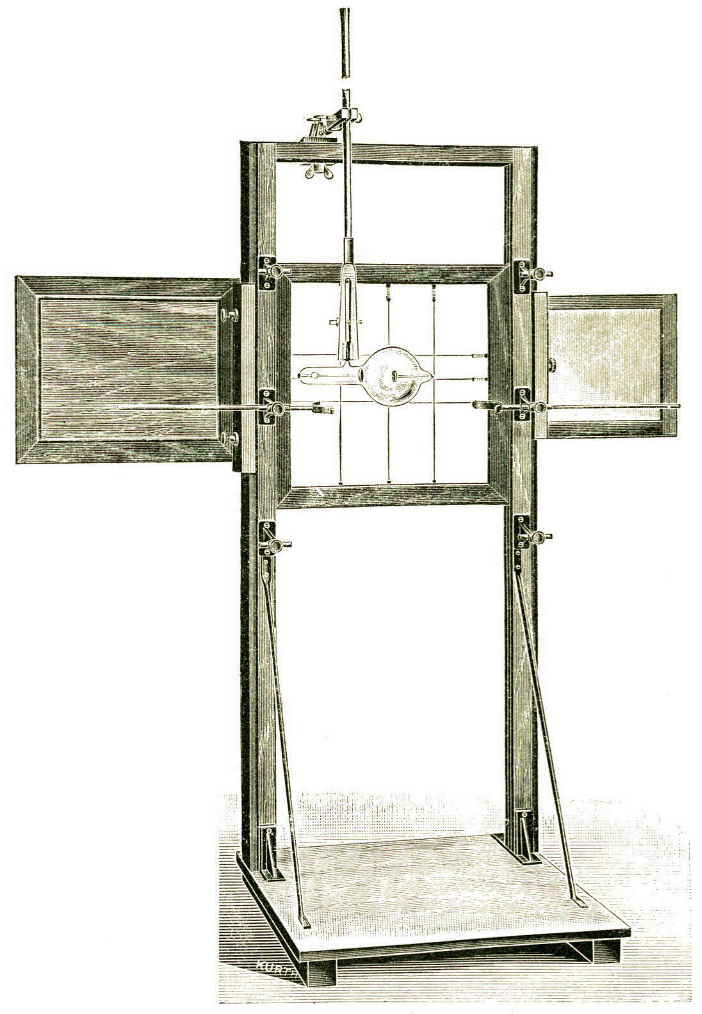


Fig. 254.

An der Seite des Stativs sind an den beiden senkrechten Säulen starke Holzleisten angebracht, an denen einerseits ein Halter für den Leuchtschirm, andernteils ein solcher für eine photographische Kassette drehbar und verschiebbar angebracht sind. Leuchtschirm und Kassette lassen sich an den Haltern durch Einhängen an Zapfen leicht befestigen.

Jede der senkrechten Säulen trägt ferner auf der Patientenseite drei Stützen, ähnlich den Kopfstützen der Photographen, mit denen der Patient in seiner Stellung festgehalten werden kann. Der obere Querpfosten trägt einen verschiebbaren Arm, an dem sich der Röntgenröhrenhalter befindet.

Bei der Untersuchung stellt oder setzt sich der Patient ganz dicht vor den Meßrahmen, den man in die passende Höhe bringt. Hinter den Meßrahmen bringt man den Leuchtschirm, mit der Schichtseite dem Beschauer zugekehrt. Vor den Patienten, in einem Abstande von 50 cm vom Leuchtschirme, kommt die Röntgenröhre. Verdunkelt man nun das Zimmer, so sieht man auf dem Fluoreszenzschirme in dem Schattenbilde des Körpers die kreuzweise gespannten Drähte sich als dünne Linien scharf abzeichnen. Da Rahmen sowie Leuchtschirm vom Stativ getragen werden, so hat man beide Hände frei und kann, indem man je zwei auf den Schienen gleitende Schieber faßt, jeden Draht auf einen beliebigen Punkt einstellen. Durch zwei sich kreuzende Drähte läßt sich ein Punkt genau markieren, durch vier Drähte ein Organ, z. B. das Herz, umrahmen. Dadurch, daß man einen ferneren Draht auf einen bestimmten Punkt des Körpers einstellt, kann man die Lage des Organs im Körper mit einiger Genauigkeit bestimmen.

Wenn die Durchleuchtung nicht mit genügender Sicherheit Aufschluß gibt, so kann man die Kassette an Stelle des Leuchtschirmes bringen und im photographischen Bilde durch die Linien Messungen ausführen. Bei vergleichenden Messungen müssen natürlich die Bedingungen, unter denen die Durchleuchtung oder die photographische Aufnahme erfolgt sind, genau dieselben sein, namentlich gilt dies von dem Abstande der Röhre von der Platte bezw. dem Leuchtschirm.

Dieser Apparat gestattet wohl vergleichende Messungen, gibt aber über die wahre Größe und Lage des Objektes ungenügende Anhaltspunkte, weil bei der stattfindenden Centralprojektion das Bild größer erscheint und eine beträchtliche Verzeichnung aufweist. Zur Ermittelung der wahren Größe ist eine rechtwinklige Parallelprojektion erforderlich. Um eine solche zu erreichen, ist dafür zu sorgen, daß der Röntgenstrahl eine Tangente an das zu projizierende Objekt darstellt, d. h. daß die Strahlen, stets zueinander parallel bleibend, auf den Schirm treffen. Eine Vorrichtung, welche diesen Zweck erfüllt, ist die an dem vorhin beschriebenen Meßstativ von Max Kohl anzubringende Zeichenvorrichtung.

Diese besteht in der Hauptsache aus einem Doppelarm, der einerseits die Röntgenröhre, andererseits den Zeichenstift trägt, und der drehbar und verschiebbar angeordnet ist, so daß sich die Röhre und der Stift parallel zur Ebene des Leuchtschirmes beliebig, aber zwangsläufig verschieben lassen.

Die Einrichtung ist demnach so getroffen, daß die Röhre jeder Bewegung des Stiftes folgt, derart, daß die Verbindungslinie zwischen Stift und Antikathode stets senkrecht zur Ebene des Leuchtschirmes steht.

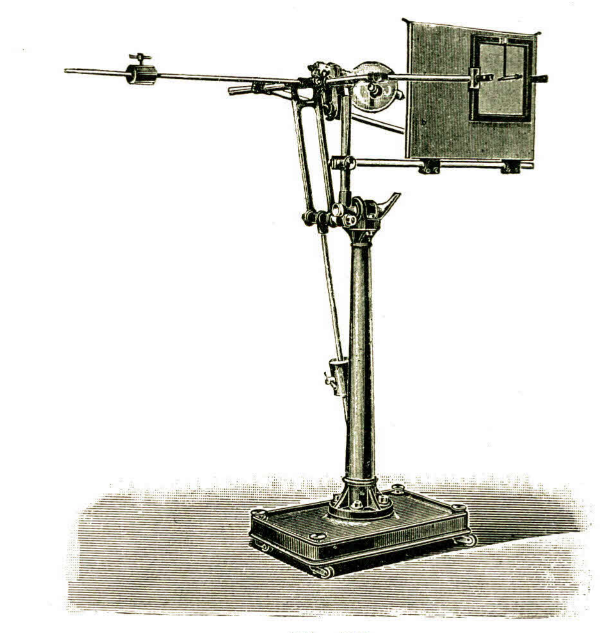


Fig. 255.

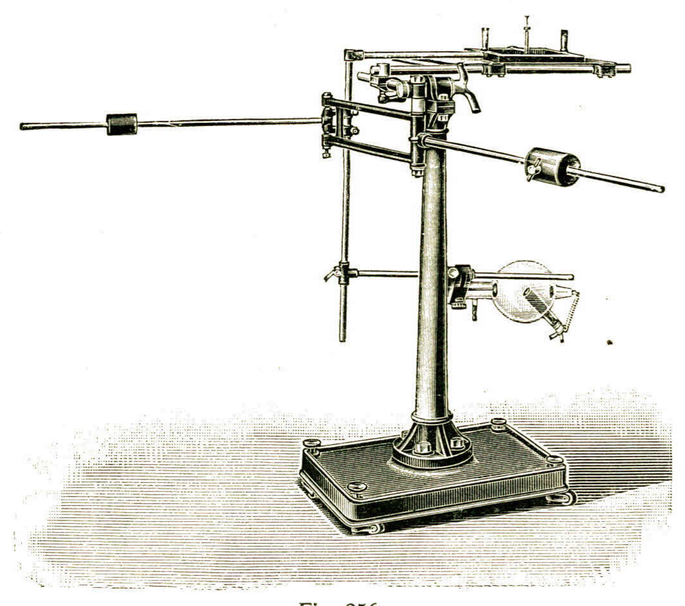


Fig. 256.

Fig. 255 und 256 zeigen einen ähnlichen, Orthographisches Zeichenstativ genannten Apparat, wie er von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin gefertigt wird. Die Verbindung des Leuchtschirmes *L* (Fig. 257), der gleichzeitig den Zeichenstift trägt, mit der Röntgenröhre ist dadurch bewirkt, daß der Leuchtschirm an einem Stahlrohr *A* befestigt ist, welches mit einem zweiten Stahlrohr *B* zu einem rechten Winkel fest verbunden ist, derart, daß das Rohr *B* sich parallel zu dem Zeichenstift befindet, welcher den kleinen Leuchtschirm *L* in seiner Mitte durchsetzt. Mit einer Klemmmutter ist auf dem Stahlrohr *B*

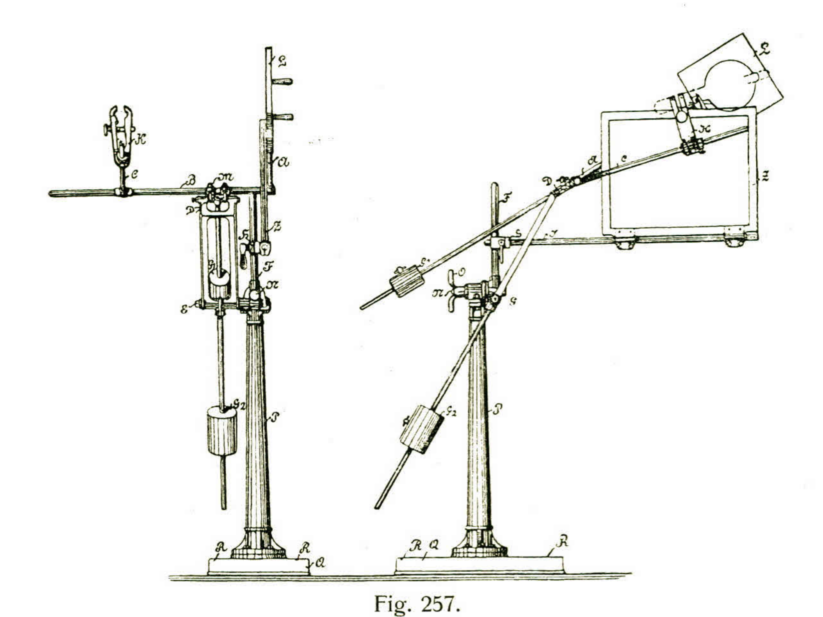


Fig. 257.

ein drittes Stahlrohr *C* verschiebbar und festklemmbar angeordnet. Das Rohr *C* trägt die ebenfalls verschiebbare Klaue zum Einspannen der Röntgenröhre. Die Verschiebbarkeit der Klaue *K* dient dem Zwecke, den Ausgangspunkt der Röntgenstrahlen tatsächlich in die Verlängerung der Achse des Zeichenstiftes zu legen; oberflächlich kann diese Einstellung nach dem Augenmaß geschehen, geringe Fehler sind ohne Einfluß auf die Genauigkeit des gezeichneten Bildes. Um aber doch eine genaue Einstellung des Ausgangspunktes in die Achse des Zeichenstiftes zu ermöglichen, d. h. um mit genau senkrechtem Röntgenstrahl zu arbeiten, ist dem Apparat ein kleines Visierrohr beigegeben, das in die Führungshülse des Zeichenstiftes eingesetzt werden kann. Die Parallelverschiebung in jeder beliebigen Richtung wird dadurch bewirkt, daß das Gebilde um zwei zueinander

parallele Achsen, und zwar um das Spitzenlager *D* und die Konusachse *E* drehbar ist. G_1 und G_2 sind Ausgleichgewichte. An einer Säule *F*, die zur Lagerachse *E* rechtwinklig steht, wird mittels Universalklammer *H* der Halterarm *J* des Zeichenbrettes *Z* festgeklemmt, auf dessen Fläche ein Stück Zeichenpapier durch seitlich angebrachte, herausklappbare Schienen leicht befestigt werden kann. Der Zeichenstift wird durch die Überschubhülsen an seiner Führungshülse mit Bajonettverschluß festgemacht und durch eine Spiralfeder sanft gegen die Papierfläche gedrückt. Das Rohr *B* ist dabei in der Spannmutter M derartig festzustellen, daß der Schirm sich in ungefähr 1 cm Abstand vor der Zeichenfläche bewegt. Das gesamte bisher beschriebene Gebilde ist nun um die Achse *N* im Kopf der Tragesäule *P* drehbar und durch eine Flügelmutter *O* in jeder Lage festklemmbar. Die schwere Grundplatte *Q* trägt an ihren vier Ecken Rollen, welche den Apparat leicht verschiebbar machen. Durch die Drehachsen der Rollen hindurch gehen Klemmschrauben *R*, durch deren Anziehen die Rollen entlastet und der Apparat auf die Schraubenspitzen festgestellt wird.

Die Abbildungen Fig. 258 und 259 erläutern den Gebrauch des Apparates für vertikales und horizontales Zeichnen. — Dieser Apparat soll außer zum Zeichnen der Organe in ihrer wahren Form und Größe auch noch zur Bestimmung der Tiefenlage von Fremdkörpern verwendet werden, und zwar dadurch, daß man den auf dem Fluoreszenzschirm sichtbaren, infolge der Centralprojektion vergrößert erscheinenden Körper mit einem Maßstabe mißt und mit der gezeichneten wahren Größe vergleicht. Aus diesen beiden Maßen und dem Abstande des Objekts vom Leuchtschirm ließe sich allerdings die Tiefe eines Fremdkörpers annähernd berechnen, genau aus dem Grunde nicht, weil die zur Berechnung dienenden Dreiecke zu spitzwinklig sind. In folgendem sind dafür bessere Methoden angegeben.

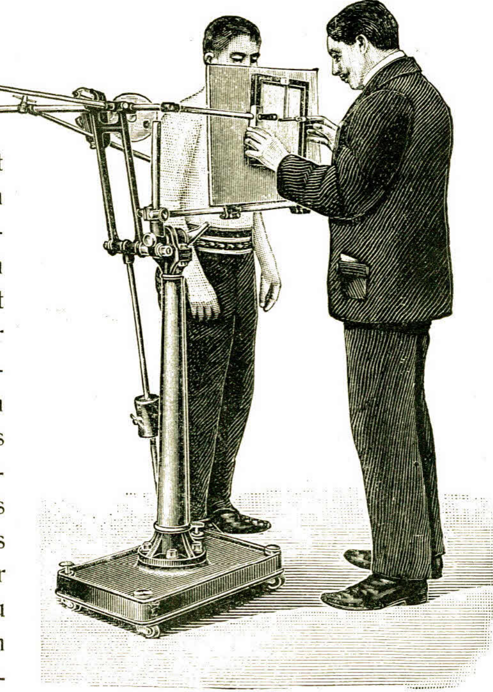


Fig. 258.

Einen diesem Apparat ähnlichen, aber einfacher ausgeführten Apparat, der jedoch nur das Zeichnen in vertikaler Lage des Zeichenbrettes gestattet, baut W. A. Hirschmann in Berlin und nennt denselben Diagraph.

Zeichenapparate auf gleichem Prinzip zur Aufnahme von Herzbildern, Orthodiagraphen genannt, bauen W. A. Hirschmann und Voltohm, Elektrizitäts-Aktiengesellschaft in Frankfurt a. M., in Tischform.

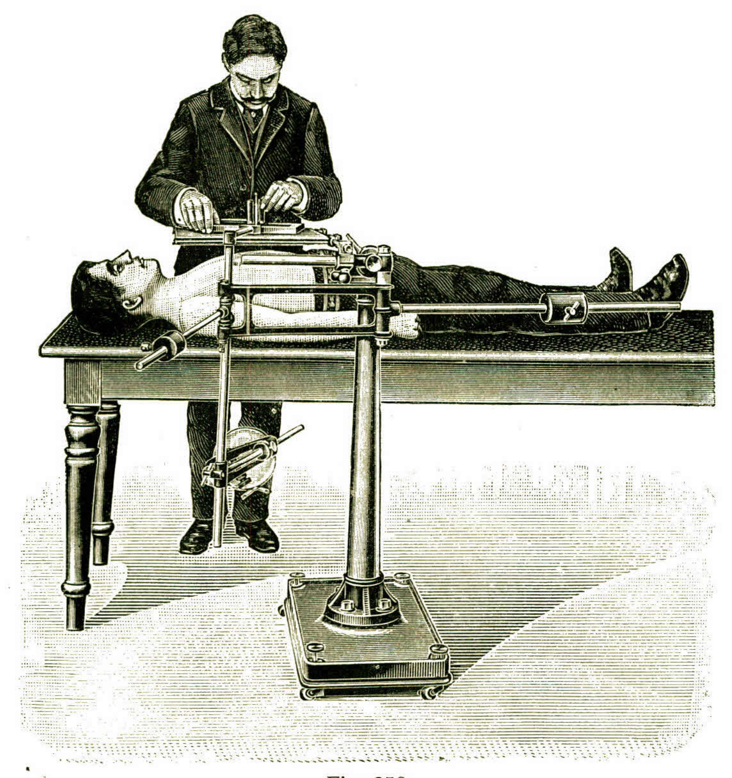


Fig. 259.

Letztere Fabrik liefert auch einen, Punktograph benannten, sehr einfachen Apparat nach Dr. Rosenthals Angabe, der zur Bestimmung des Ortes (Tiefe) eines Fremdkörpers, z. B. einer im Oberschenkel sitzenden Gewehrkugel, dienen kann. Der Apparat (Fig. 260) besteht aus zwei langen, schmalen Stäbchen, an deren Enden Metallringe sitzen. Diese werden auf beiden Seiten des Schenkels aufgelegt und so verschoben, daß beide Metallringe nur ein Bild auf dem Leuchtschirm geben, d. h. deren beide Schatten sich decken und in der Mitte den Schatten des Fremdkörpers zeigen. Durch einen Druck auf den Knopf des Apparates wird in der Mitte der Ringe

je ein farbiger Punkt aa_1 auf die Haut gemacht, und es ist klar, daß die Kugel auf der Verbindungslinie dieser beiden Punkte liegen muß. Verschiebt man nun die Röhre um eine beliebige Strecke, so läßt sich der Körper abermals in die Ringe fassen und man erhält zwei neue Farbemarken bb_1. Der gesuchte Körper muß nun in dem Schnittpunkte der Verbindungslinien aa_1 mit bb_1 liegen, und einem geübten Chirurgen wird es in den meisten Fällen nicht schwer fallen, den Körper zu treffen. Bezeichnet d die Dicke des Körperteils, e die Entfernung der beiden vorderen Punkte $a - b$ und f die Entfernung der beiden hinteren Punkte $a_1 b_1$, so beträgt die Tiefe des Fremdkörpers unter der vorderen Oberfläche $= \frac{ed}{e+f}$; unter der hinteren Oberfläche $= \frac{fd}{e+f}$. Diese Formeln gelten freilich nur unter der Voraussetzung, daß die vordere und hintere Oberfläche des Körperteils eine Ebene sei und beide parallel liegen, ein Fall, der beim



Fig. 260.

menschlichen Körper kaum eintreten kann. Es können somit die berechneten Tiefen bloß angenäherte sein, doch kommt eine geringe Abweichung nicht in Betracht.

Das von Dr. B. Donath angegebene, von Ferdinand Ernecke in Berlin konstruierte und zu beziehende Meßstativ gibt genaue Resultate, und zwar lassen sich damit folgende Fragen befriedigend lösen:

1. Unter welchem Punkte, senkrecht zur Fläche des Leuchtschirmes, ist der Fremdkörper, Knochensplitter etc., zu finden?
2. Wie groß ist derselbe?
3. In welcher Entfernung vom Leuchtschirm, senkrecht unter dem ad 1 ermittelten Punkte, liegt derselbe?
4. Wie groß ist die Entfernung zweier Körper voneinander, auch wenn dieselben hintereinander liegen?

Die Konstruktion dieses Apparates ist eine sehr einfache und besteht derselbe (Fig. 261) im wesentlichen aus einer in Millimeter geteilten Schiene, auf welcher sich eine Röntgenröhre entweder zugleich mit einem kleinen Leuchtschirm oder ohne denselben verschieben läßt. Diese Schlittenvorrichtung ist an einem schweren eisernen, am Fußboden zu befestigenden Stativ angebracht, an dem sie sich auf und nieder, sowie nach allen Winkeln

der Vertikalebene bewegen läßt, um so der Stellung des zu untersuchenden Objektes angepaßt werden zu können.

Bei den Messungen wird wie folgt verfahren:

Zur Beantwortung der Frage 1 vergl. Fig. 262.

Die Röntgenröhre wird mit dem Leuchtschirm *S* auf den beweglichen Zapfen *Z* der Schiebevorrichtung so aufgesetzt, daß die Skala *K*, Antikathode und Mittellinie des Leuchtschirmes möglichst in einer Ebene liegen. Dann wird der Index *J* so eingestellt, daß eine durch ihn und die Antikathode gedachte Linie *a* — *b* auf der Skala *K* möglichst senkrecht steht. Befindet sich nun ein Fremdkörper *F* zwischen Röhre und Schirm, und wird die Vorrichtung so verschoben, daß der Schatten des Fremdkörpers in die Visieröffnung des am Leuchtschirm angebrachten Index fällt, so muß sich der Körper offenbar genau hinter der Visieröffnung, und zwar senkrecht zum Leuchtschirm, in der Richtung nach der Antikathode der Röhre hin befinden.

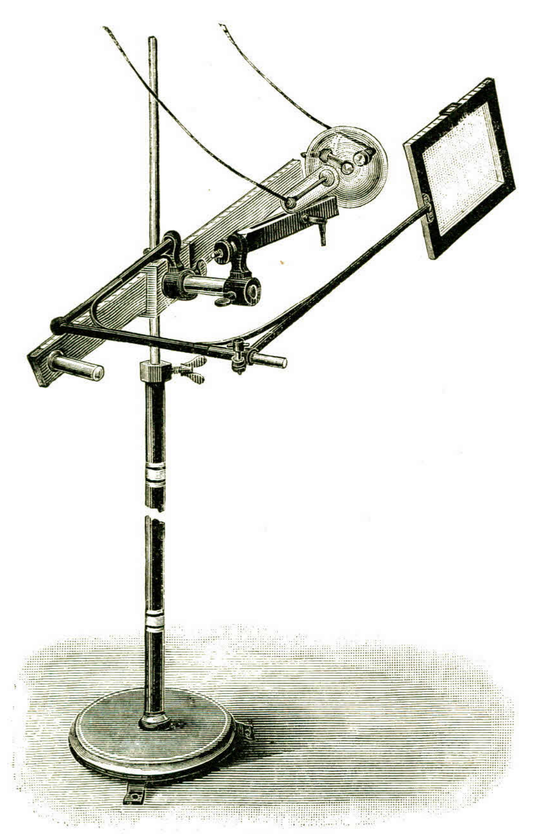


Fig. 261.

Zur Beantwortung der Frage 2: Die Schlittenvorrichtung wird mit dem Leuchtschirm erst auf den einen, dann auf den andern Rand des Schattens eingestellt und die Strecke am Maßstab abgelesen. Durch Drehen der Skala in jeder beliebigen Richtung kann die Größe des Körpers in allen seinen Dimensionen bestimmt werden.

Zur Beantwortung der Frage 3: Röhre und Leuchtschirm werden getrennt. Die Röhre bleibt an ihrem Ort, während der Schirm, unter Umdrehung desselben, an dem Zapfen Z^1 (Fig. 263) befestigt wird. Die Röhre wird nun zunächst dem Schirm gegenüber gebracht und das

Objekt so dazwischen gehalten, daß der Schatten etwa auf die Mitte des Schirmes fällt. Wird die Röhre um einen beliebigen Betrag nach rechts verschoben, so wandert der Schatten nach links. Dann verschiebt man den Index am Leuchtschirm ebenfalls so weit nach links, bis der Schatten

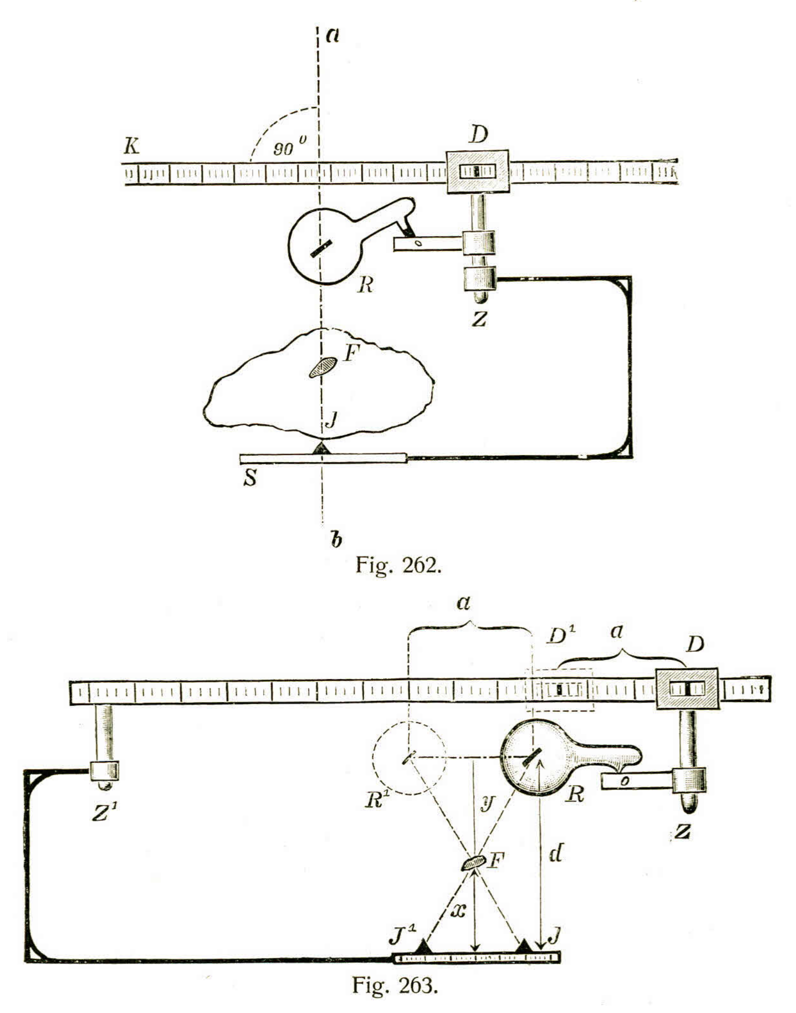


Fig. 262.

Fig. 263.

durch den Indexfaden halbiert wird (J^1). Die Zahlen an den Skalen bei D und J^1 werden abgelesen und notiert. Hierauf folgt eine beliebige Verschiebung der Röhre nach links (etwa 20 bis 30 cm) und wiederum Notieren der Zahlen bei D_1 und J. $D - D^1$ ergibt die Verschiebungsstrecke a; $J^1 - J$ die Verschiebungsstrecke b des Index auf dem Leuchtschirm. Nun messe man noch die Entfernung d der Antikathode vom

Leuchtschirm, was mit genügender Genauigkeit mit einem Zollstock geschehen kann. Die Entfernung des Körpers vom Leuchtschirm ist dann

$$x = \frac{bd}{a + b}.$$

Wird das zu untersuchende Objekt bei der Messung direkt an den Leuchtschirm angelegt, so gibt die so erhaltene Zahl direkt die Entfernung des Fremdkörpers unter der Objektoberfläche an.

Zur Beantwortung der Frage 4: Liegen die Körper nebeneinander, so erledigt sich die Frage nach 2., indem nun nicht die Größe eines Körpers, sondern eine Zwischenraumstrecke zu messen ist. Kann diese Messung bei verschiedenen Stellungen des Objektes gemacht werden, so ist der größte erhaltene Wert der wahrscheinlichste.

Liegen die Körper gerade hintereinander, so kann für jeden derselben eine Tiefenbestimmung nach 3. gemacht werden; beide so erhaltene Zahlen voneinander abgezogen, ergeben die Entfernung beider. Die Genauigkeit dieser Messungen beträgt bei leichten Objekten 1 bis 2 %; bei schwierigen Messungen etwa 3 bis 4 %.

II. Radiographie.

9. Kassetten.

In allen den Fällen, wo es sich darum handelt, das von den Röntgenstrahlen erzeugte Bild dauernd zu fixieren, oder wenn es sich um die Durchleuchtung sehr dichter und starker Körperteile handelt, wird die Radiographie anzuwenden sein. Dieselbe erfolgt durch photographische Aufnahme. Die

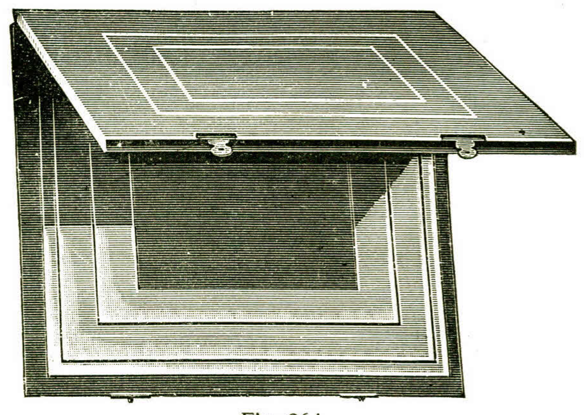


Fig. 264.

heute gebräuchlichen Trockenplatten sind auch für Röntgenstrahlen empfindlich. Zur Aufnahme eines Bildes müssen die Platten in einen dünnen, gleichmäßig dicken, für gewöhnliches Licht undurchlässigen Umschlag eingeschlagen sein, wozu sich z. B. schwarzes Papier eignet. Dieses primitive Verfahren führt aber leicht zum Bruch der Platten und bedient man sich deshalb mit Vorteil einer eigens für Röntgenaufnahmen gefertigten Kassette. Fig. 264 zeigt die Dr. Levysche Universalkassette, welche in zwei Größen hergestellt wird, deren jede für mehrere Plattengrößen eingerichtet ist.

Da es sich bei der Röntgenphotographie um Schattenbilder eines Körpers handelt, sind photographische Apparate nicht nötig, auch gar nicht anwendbar, da sich die Röntgenstrahlen durch Objektive nicht zu einem

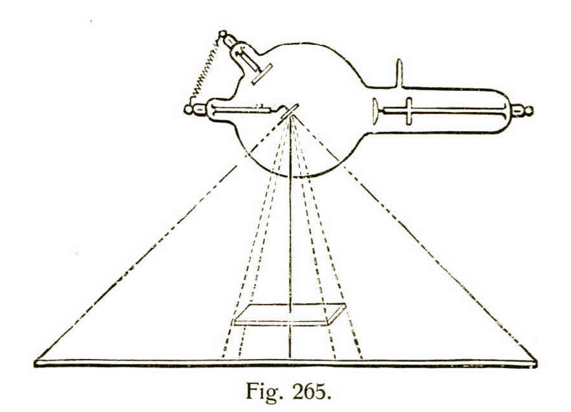


Fig. 265.

Bilde vereinigen lassen. Es bedarf daher auch keiner Einstellung der Platten, vielmehr werden diese, mit der lichtempfindlichen Schicht nach dem Objekt hin, dicht an dasselbe gehalten und die Röntgenröhre auf der anderen Seite des Objektes in geeigneter Entfernung von demselben angebracht. Die Mitte der Platte soll möglichst senkrecht von den Röntgenstrahlen getroffen werden (Fig. 265). Es wurde bereits früher darauf hingewiesen, daß die weichen, kontrastreichen Röhren die intensivsten und chemisch wirksamsten Strahlen aussenden, daher werden solche Röhren auch die besten Resultate beim Photographieren geben. Was die Expositionszeit anbetrifft, so ist dieselbe natürlich von der Unterbrechungszahl, von der Wirksamkeit und Belastung der Röhre, sowie ihrer Entfernung vom Objekt und der Platte abhängig; die in folgender Tabelle genannten Expositionszeiten beziehen sich auf eine weiche, bei mittlerer Unterbrechungszahl mit mäßiger Stromstärke betriebene Kontraströhre, die sich in dem in der ersten Kolumne angegebenen Abstande von der Kassette befindet. (Mitte Röntgenröhre bis Vorderkante der Kassette):

10. Tabelle der Expositionszeit in Sekunden.

Aufnahmen von	Abstand in Centimetern	Quecksilberstrahl- oder Flüssigkeits-Unterbrecher	Platin-Unterbrecher
Hand	25	6	30
Arm, Fuß	35	20	60
Schulter, Schlüsselbein, Hals, Brustbein, Oberschenkel	40	40	100
Schädel	45	45	120
Hüftgelenk	50	90	180
Becken	60	120	250

11. Härteskalen.

Um möglichst kontrastreiche Bilder des mit Röntgenstrahlen zu durchleuchtenden Körperteiles zu erhalten, muß man, wie wir gesehen haben, die Härte der Röntgenröhre dem Durchlassungsvermögen der in Frage kommenden Teile so weit als möglich anpassen. Die einfachste Beurteilung des jeweiligen Härtezustandes der Röhre geschieht nach dem Aussehen des

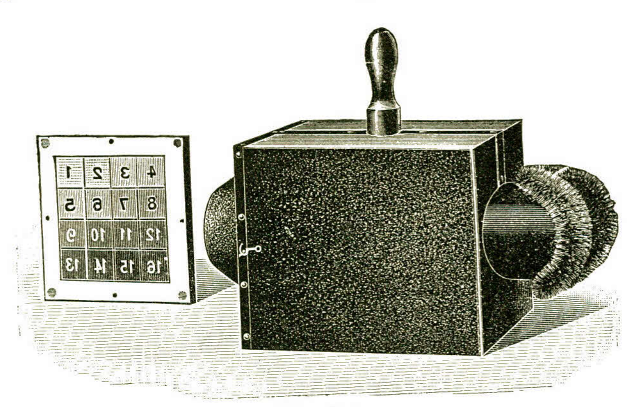


Fig. 266.

auf dem Fluoreszenzschirm entworfenen Handbildes des Beobachters, ein Verfahren, das zwar recht zuverlässig, aber auf die Dauer nicht ungefährlich ist. Um die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen in anderer Weise zu bestimmen, bedient man sich eines Skiameters. Dieses ist ein Fluoroskop, vor dessen Leuchtschirm ein System numerierter Stanniolblätter angebracht ist. Fig. 266 zeigt ein derartiges Instrument von Max Kohl in Chemnitz. Der Leuchtschirm von 12 cm im Quadrat wird durch

Quadrate in 16 Felder geteilt, auf deren jedem eine Zahl aus Blei befestigt ist. Diese Zahlen erscheinen bei Durchleuchtung absolut dunkel. Die einzelnen Quadrate sind mit einer steigenden Anzahl starker Stanniolblätter belegt: Nr. 1 bleibt frei, Nr. 16 enthält 15 Stanniolblätter übereinander, die eine Gesamtdicke von 0,65 mm haben. Bei der Durchleuchtung heben sich diejenigen Bleizahlen ab, deren zugehörige Stannioldicke von den Strahlen der Röhre durchdrungen wird, die höheren Zahlen bleiben unsichtbar. Je höher demnach die noch erkennbare Zahl ist, desto größer ist das Durchdringungsvermögen der Strahlen. Da hierbei der Abstand der Röhre vom Leuchtschirm von wesentlichem Einfluß ist, so ist an dem Instrument vor dessen Leuchtschirm ein trichterförmiger Kasten angebracht, dessen Öffnung man direkt an die Röhre anlegt. Beim Vergleich mehrerer Röhren untereinander hat man auf den verschiedenen Durchmesser der Glaskugeln Rücksicht zu nehmen, indem man den Skiameter immer in gleiche Entfernung vom Platinreflektor der Röhre bringt. Allerdings muß man berücksichtigen, daß die Fluoreszenzwirkung und die photographische Wirkung einer Röhre nicht identisch sind; mit der wachsenden Leistung einer Röhre steigern sich diese Wirkungen ungleich, so daß z. B. die photographische Wirkung einer harten Röhre, die also recht stark durchdringende Strahlen erzeugt, viel kleiner ist als die einer weichen, wenig durchdringungsfähige Strahlen erzeugenden. Insofern ist also das Skiameter nicht maßgebend für die Expositionszeit; und man muß mit ihm nicht bloß die Durchdringungsfähigkeit der Strahlen, sondern auch die Kontrastwirkung der Röhre kontrollieren, indem man den Helligkeitsunterschied zwischen dem hellsten und dunkelsten Feld beobachtet. Für die photographische Aufnahme starker Körperteile, wie Brustkorb und Becken, werden harte Röhren nicht zu entbehren sein, aber selbst die durchdringendste Röntgenröhre ohne Kontrast wird immer Fehlaufnahmen geben.

Neuerdings hat Dr. Walter ein verbessertes Skiameter angegeben, welches gestattet, eine genauere Härtebestimmung vorzunehmen. Diese Waltersche Härteskala*) besteht im wesentlichen aus einer allseitig mit dünnem Holz umkleideten Bleischeibe, durch deren mittleren Teil acht kreisrunde Löcher von je 6 mm Durchmesser und je 10 mm Abstand geschlagen sind. Diese Löcher sind mit Platinblechen bedeckt, deren Dicke in der in Fig. 267 angegebenen Reihenfolge von 0,005 mm für Nr. 1 bis 0,64 mm für Nr. 8 in geometrischer Progression zunimmt. Hierdurch wird erzielt, daß man einerseits mit einer kleineren Anzahl von Feldern

*) Vgl. Dr. B. Walter, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Band VI, Heft 2, S. 68ff. 1902.

auskommt, andererseits die Bestimmung des Härtegrades von der Belastung der Röhre scheinbar unabhängiger ist.

Eine Röntgenröhre ist nun um so härter, je mehr von diesen Platinblechen ihre Strahlung zu durchdringen vermag; sie hat also beispielsweise die Härte 6, wenn man auf dem hinter den Löchern angebrachten Leuchtschirm sechs helle Kreise erkennen kann. Dabei ist zu beachten, daß man eine solche Härtemessung stets erst nach längerem Aufenthalt (5 bis 10 Min.) in einem nur schwach erleuchteten Zimmer vornehmen darf, und daß man auch während der Messung selbst jedes fremde Licht vom Auge fernhalten muß. Das Licht der Röhre selbst deckt der Bleischirm des Instruments von selbst ab, wenn man das letztere, wie vorgeschrieben, der Glaskugel der Röhre bis auf einige Centimeter nähert. Dabei ist das Instrument natürlich so zu halten, daß die Röntgenstrahlung der Röhre die sämtlichen Löcher der Skala frei passieren kann.

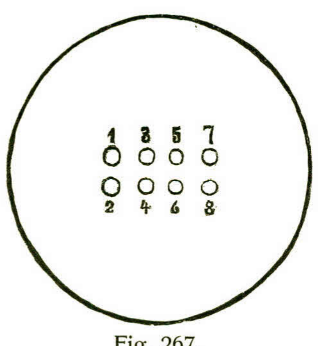


Fig. 267.

Ferner greife der Beobachter das Instrument stets an dem oben auf der Holzbekleidung angebrachten Metallrohr an, da dann seine Hand durch die im Holze verborgene Bleischeibe gegen die Strahlung der Röhre geschützt ist. Um auch seine Augen und sein Gesicht gegen die durch die Löcher der Skala selbst hindurchdringende Strahlung zu schützen, ist hinter dem Leuchtschirm eine Platte aus Bleiglas angebracht, das selbst für die härtesten Röntgenstrahlen fast vollkommen undurchlässig ist.

Zur Zählung der auf dem Leuchtschirm sichtbaren Kreise braucht man die Augen nicht bis dicht an das Metallrohr des Instrumentes heranzuführen, sondern kann aus der bequemeren Entfernung der deutlichen Sehweite beobachten.

Bei sehr häufiger Anwendung des Instrumentes innerhalb weniger Stunden ist der Leuchtschirm desselben ab und zu etwas hin und her zu schieben, da sonst das Barium-Platincyanir immer an denselben Stellen bestrahlt werden und seine Empfindlichkeit daselbst leiden würde. Durch Lösung der Führungsschraube läßt sich der Schirm erforderlichen Falles auch ganz herausziehen und von der entgegengesetzten Seite her einschieben.

Diese Waltersche Härteskala wird in der in Fig. 268 wiedergegebenen Ausführungsform von Rich. Seifert & Co. in Hamburg in den Handel gebracht.

Endlich ist in neuester Zeit eine neue derartige Skala von Benoist in Paris angegeben worden, welche eine völlig einwandfreie, von der Belastung der Röhre unabhängige Härtebestimmung gestattet. Diese Härteskala beruht auf der ungleichen Änderung der Transparenz verschiedener Körper bei Veränderung der Qualität der Röntgenstrahlen. Bei der Benoistschen Skala sind um eine in der Mitte angebrachte 0,11 mm dicke Silberblechplatte zwölf aus 1 bis 12 mm dickem Aluminiumblech bestehende Sektoren angeordnet. Die Härte der Röhre wird nun in der Weise gemessen, daß auf einem hinter der Skala gehaltenen Leuchtschirm die Nummer desjenigen Aluminiumsektors bestimmt wird, welcher die gleiche Durchlässigkeit wie die mittlere Silberscheibe zeigt, was an der gleichen Helligkeit der den betreffenden Schichten entsprechenden Teile des Leuchtschirmes erkannt wird. Die Änderung der Entfernung des Instruments von der Röhre oder die Variierung der Röhrenhelligkeit ändern nichts an den Angaben des Instruments, da die in Frage kommenden Felder des Benoistschen Instruments beide in demselben Maße heller oder dunkler werden.

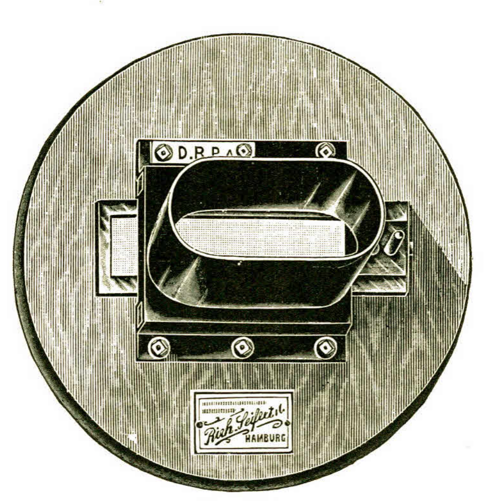


Fig. 268.

Walter hat diese Benoistsche Skala in der Weise modifiziert, daß er die Abstufungen derselben mit denen seiner Härteskala in Übereinstimmung brachte. Der Benoist-Waltersche Härtemesser besitzt dementsprechend unter Beibehaltung des mittleren 0,11 mm dicken Silberblechs eine sechsstufige Skala, und zwar nimmt die Dicke des Aluminiumblechs nicht mehr, wie bei dem ursprünglichen Instrumente nach einer arithmetischen Reihe erster, sondern nach einer solchen zweiter Ordnung zu.

Der durch diese Verbesserung erreichte praktische Fortschritt besteht in der gleichmäßigeren Helligkeitsabstufung zwischen den in Betracht kommenden Aluminiumfeldern bei allen Röhrenhärten, während dieselbe früher bei den weichen Röhren viel zu stark und bei den harten dagegen viel zu schwach war.

Fig. 269 zeigt eine von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen in den Handel gebrachte Benoist-Waltersche Härteskala mit Kryptoskop.

Das Instrument besteht aus einer Aluminiumplatte mit rechteckigem Ausschnitt. Neben dem Ausschnitt, der durch eine dünne Silberplatte abgedeckt ist, befindet sich der in arithmetischer Reihe zweiter Ordnung stufenförmig verdickte Aluminiumstreifen, dessen einzelne Stufen durch Bleizahlen kenntlich gemacht sind.

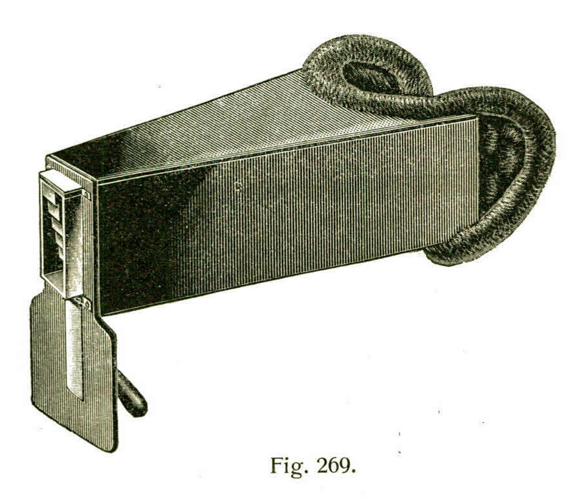


Fig. 269.

Silber- und Aluminiumstreifen werden von einem Rahmen aus für Röntgenstrahlen schwer durchlässigem Material verschlossen. Das Instrument ist mit Schutzgriff zur Verhütung von Hautverbrennungen versehen. Der Leuchtschirm ist verschiebbar angeordnet, um eine Ermüdung der aktiven Salze zu vermeiden.

12. Radiometer.

Neben den Härteskalen seien die zur Bestimmung der Intensität resp. Quantität der Röntgenstrahlen konstruierten Radiometer erwähnt.

Zunächst sei an dieser Stelle des vom Verfasser konstruierten und von Dr. Max Levy in Berlin in den Handel gebrachten Röntgen-Radiometers gedacht, das zur Messung der photographisch bezw. therapeutisch wirksamen Energiestrahlung einer Röntgenröhre dienen kann. Dasselbe basiert auf der verhältnismäßig kräftigen Einwirkung von Röntgenstrahlen auf nach einem besonderen Verfahren hergestellte Selenzellen. Letztere sind in ein lichtdichtes Kästchen eingeschlossen und ändern ihren Widerstand bei Röntgenbestrahlung. Ihre Widerstandsänderung, die an einem empfindlichen Milliampèremeter leicht abgelesen werden kann, gibt ein Maß für die Intensität der Strahlung. Das Instrument zeichnet sich dadurch aus, daß die Ablesung objektiv erfolgt.

Neuerdings beschreibt Dr. Guido Holzknecht einen neuen Apparat zur Bestimmung der Quantität der von einer Röhre ausgehenden Röntgenstrahlung;*) er benutzt bei demselben die Eigenschaft gewisser Salze, sich beim Auftreffen von Röntgenstrahlen zu färben, wobei die Tiefe der Färbung mit der im Salz absorbierten Lichtmenge parallel verläuft.

*) Vgl. Wiener klinische Rundschau 1902, Nr. 35.

Besonders für therapeutische Zwecke ist das Chromo-Radiometer, so nennt Holzknecht seinen Apparat, von Wichtigkeit, da man an einer Normalskala durch eine entsprechende Menge eines solchen Salzes, die man neben die zu bestrahlende Stelle auf die Haut legt, die Wirkung kontrollieren kann, indem man die Bestrahlung so lange fortsetzt, bis die richtige Färbung erreicht ist. Ob man dann mit starker oder schwacher Intensität, mit naher oder weiter Lichtquelle arbeitet, ist für die Erreichung der richtigen Dosierung gleichgültig. Der aus einer Mischung von chemisch reinem Natriumsulfit und Natriumchlorid hergestellte Reagenzkörper und die aus einer Reihe solcher Reagenzkörper mit stufenweise zunehmender, im Tageslicht unveränderlicher bläulich-grüner Färbung bestehende Standardskala (vgl. Fig. 270) dienen also der exakten quantitativen Bestimmung der von der Haut absorbierten Röntgenlichtmenge.

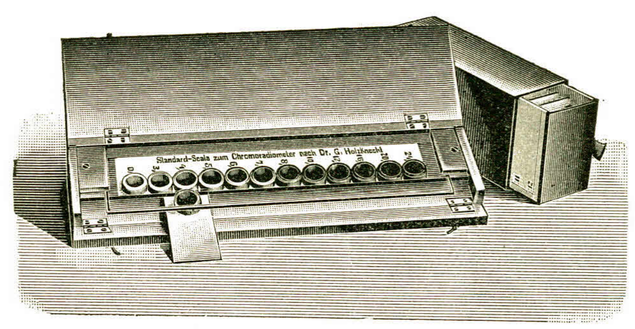


Fig. 270.

13. Patiententische.

Bei den Aufnahmen von Körperteilen ist es zweckmäßig, dieselben aufzulegen. Für Hand- und Armaufnahmen wird ein verstellbarer Tisch angewendet, wie er in Fig. 271 abgebildet ist. Die Platte kann gekippt werden und trägt zweckmäßigerweise gleich das Röhrenstativ.

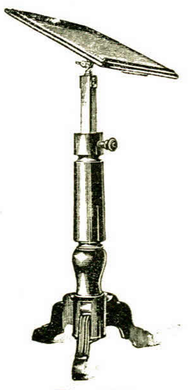


Fig. 271.

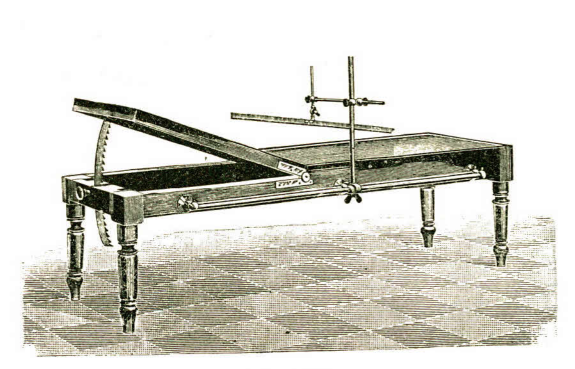


Fig. 272.

Für alle anderen Aufnahmen dient ein niedriger Patiententisch mit Kassettenhalter, wie ihn Max Kohl in Chemnitz und andere Fabrikanten herstellen und Fig. 272 in $^1/_{40}$ der natürlichen Größe darstellt.

Der Rahmen ist 2,2 m lang, 0,6 m breit, mit Segeltuch oder Leder bespannt. Ein Teil des Rahmens ist verstellbar, um den Patienten mit

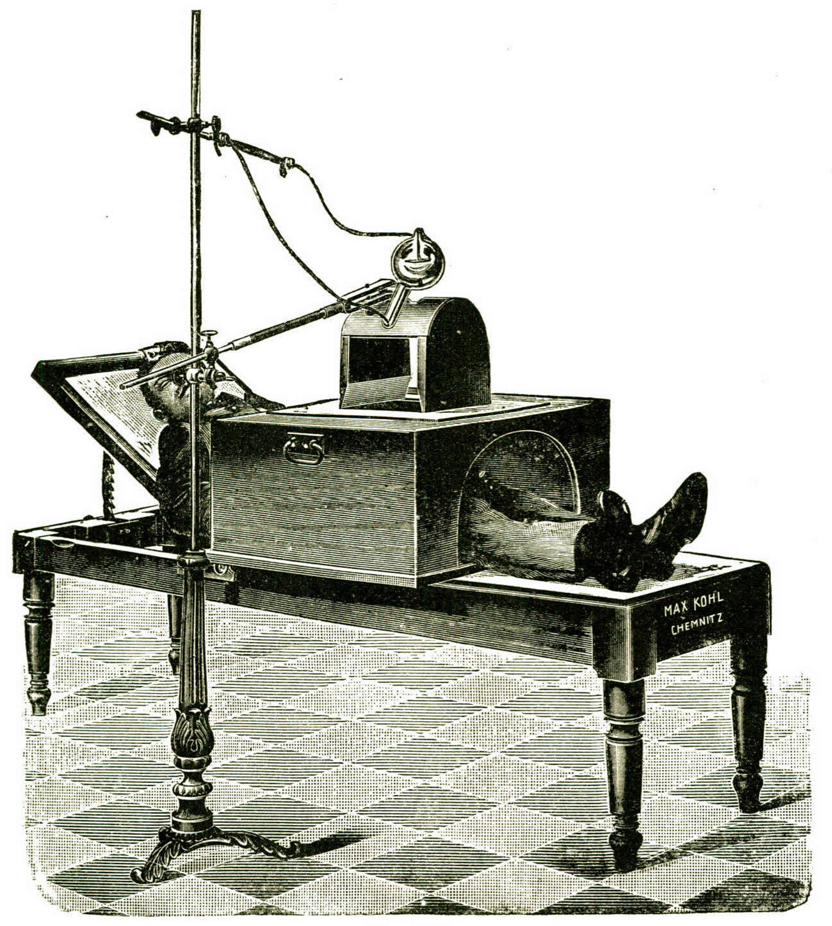


Fig. 273.

dem Kopf und Rücken etwas höher legen zu können. Der Kassettenhalter ist so eingerichtet, daß man die Kassette sowohl über dem Patienten, als unter dem Tisch anbringen kann. Im ersten Falle befindet sich die Röntgenröhre unter dem Tisch.

Bei den großen, harten Röntgenröhren, wie sie zur Aufnahme von Becken oder Brustkorb angewendet werden, sendet nicht nur die Platin-

Antikathode, sondern die ganze Röhre wirksame Röntgenstrahlen aus, welche den Strahlenkegel der Antikathode durchkreuzen und dadurch verschwommene Bilder erzeugen.

14. Bleiblenden.

Um diese Strahlen abzuhalten, wird eine Blende von Bleiblech angewendet, die einen Ausschnitt von der Größe besitzt, daß nur der Strahlenkegel der Antikathode hindurchgehen kann. Auch die durch Auftreffen auf andere als den zu durchleuchtenden Körper, entstehenden diffusen Röntgenstrahlen, müssen durch Bleiplatten möglichst unschädlich gemacht werden. Diesem Zweck dient der in Fig. 273 abgebildete Tischaufsatz, der von Max Kohl in Chemnitz gefertigt wird. Derselbe besteht aus einem 60 cm breiten, 30 cm hohen Holzkasten und besitzt zwei halbkreisförmige Ausschnitte, um einen Menschen unter denselben legen zu können, Dieser Kasten ist im Innern vollständig mit 2 mm starkem Bleiblech ausgeschlagen. Im Deckel ist ein quadratisches Loch von 40 cm angebracht, auf welches die Blende zu stehen kommt. Auch in die Kassette kommt eine Bleieinlage unter die photographische Platte. Diese Vorrichtung schützt gleichzeitig den Photographierenden.

15. Kompressionsblenden.

In besonders schwierigen Fällen, z. B. bei der Untersuchung auf Nieren- und Gallensteine, deren Gelingen bei den früheren Verfahren zumeist von der Größe und dem spezifischen Gewicht der Steine abhing, weil Steine von nur mäßigem Umfang und geringer Dichte sich auf der photographischen Platte nicht oder kaum ausprägen, hat sich die neuerdings von Dr. Albers-Schoenberg in Hamburg konstruierte Kompressionsblende (Fig. 274) sehr gut bewährt. Die Blende, in Form eines Rohres, wird dem Patienten auf den Leib gepreßt, wodurch einmal der von den Röntgenstrahlen zu durchdringende Teil des Körpers

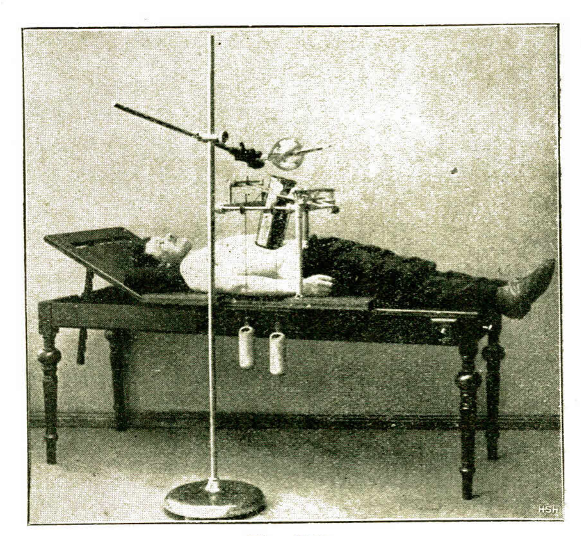
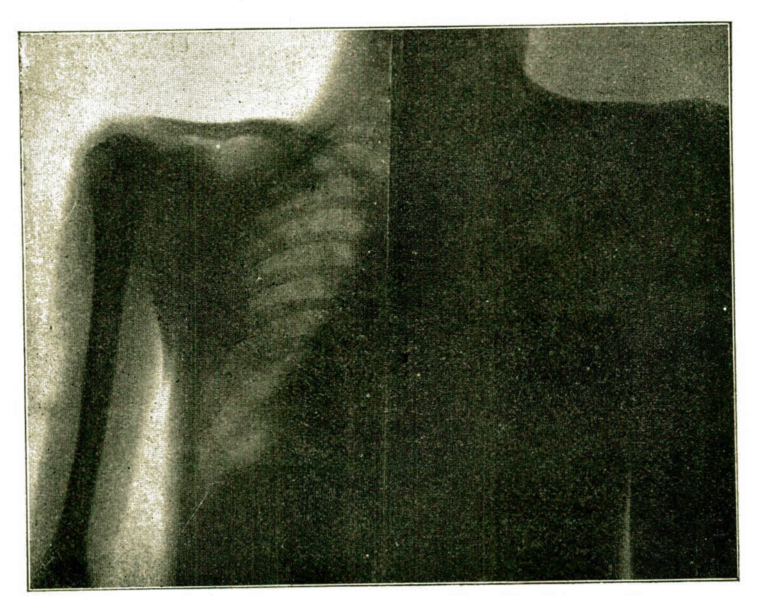


Fig. 274.

wesentlich dünner gemacht, andererseits die zu untersuchende Körperstelle festgelegt wird. Der Apparat besteht im wesentlichen aus einem das Blendenrohr tragenden Metallrahmen auf einem Holzgestell, das eine Versenkung zur Aufnahme der photographischen Platte enthält.

Die Untersuchung mit diesem Apparat, der von der Aktien-Gesellschaft Siemens & Halske in Berlin ausgeführt und in den Handel gebracht wird, erfolgt nun so, daß man den Rahmen in die Höhe klappt, in die Versenkung des Brettes die Kassette mit der photographischen Platte legt, den Patienten mit dem Rücken auf die Kassette lagert und nach genauer Einstellung des Apparates das aufgesetzte Rohr durch langsame Kurbeldrehung dem Patienten auf den Leib preßt und dies fortsetzt, so lange sich bei ihm kein größeres Unbehagen bemerkbar macht. Dann wird mittels der Röntgenröhre die Platte belichtet.



Mit Verstärkungsschirm. Ohne Verstärkungsschirm.

Fig. 275.

16. Verstärkungsschirme.

Bei starken Objekten muß man, um nicht allzu große Verzerrungen auf die Platte zu bekommen, die Röhre schon in einen größeren Abstand vom Objekt bringen; dadurch wird die Expositionszeit natürlich eine viel längere. Um dieselbe abzukürzen, bedient man sich eines Verstärkungsschirmes. Derselbe besteht aus einem Kartonpapierblatt, das mit einer Schicht feinst pulverisierten wolframsauren Calciums bedeckt ist. Dieser Stoff hat die

Eigenschaft, unter dem Einflusse der Röntgenstrahlen in einer photographisch sehr wirksamen Farbe, nämlich blau-violett, zu fluoreszieren. Bedeckt man daher die photographische Trockenplatte mit solchem Schirm, Schicht an Schicht liegend, ohne Zwischenlage, so erzeugen nicht nur die X-Strahlen, die den Schirm fast ungehindert durchdringen, ein Bild in der bekannten Weise auf der Platte, sondern auch die von dem Fluoreszenzbild des Schirmes ausgehenden violetten, außerordentlich wirksamen Lichtstrahlen, wodurch die Wirkung in hohem Maße verstärkt wird. Barium-Platincyanirschirme sind zur Bilderverstärkung wenig geeignet, weil die von solchen ausgehenden grünen Lichtstrahlen photographisch ziemlich unwirksam sind.

Die Verstärkungsschirme setzen bei sonst gleichen Verhältnissen die Expositionszeit auf den vierten bis fünften Teil der sonst nötigen herab; wenn man statt der Trockenplatten Films anwendet und diese zwischen zwei Verstärkungsschirme legt, ist sogar eine Abkürzung bis auf den sechsten Teil der Zeit zulässig. Fig. 275 veranschaulicht die Wirkung eines solchen Verstärkungsschirmes.

Die kürzere Expositionszeit bei Anwendung von Verstärkungsschirmen wird leider auf Kosten der Schärfe der Bilder erkauft. Es empfiehlt sich deshalb, die Verstärkungsschirme nur in den Fällen anzuwenden, in denen eine sehr kurze Expositionsdauer unbedingt notwendig ist.

17. Röntgenfilms.

Röntgenfilms unterscheiden sich von den gewöhnlichen Trockenplatten sehr vorteilhaft dadurch, daß sie auf beiden Seiten mit Emulsion versehen sind. Bei der Exposition durchdringen die Röntgenstrahlen nicht nur die obere Schicht, sondern auch den Schichtträger (Celluloid) und die untere Schicht, und es entstehen somit zwei kongruente Negative, deren Schatten sich addieren, also gegenseitig verstärken. Dies hat den Vorteil, daß man die Expositionszeit auf etwa den dritten Teil abkürzen kann; zwischen Verstärkungsschirmen sogar bis auf den zehnten bis zwölften Teil. Vor Überexposition ist zu warnen; man erhält dabei flaue Negative, mit denen nichts anzufangen ist.

18. Schaukasten für photographische Platten.

Zur bequemen Betrachtung der erhaltenen Röntgen-Negative dienen die in neuerer Zeit konstruierten Schaukasten, die sich meist sowohl für Betrachtungen bei Tageslicht als auch bei elektrischem Licht eignen. Die Vorderwand des Kastens besitzt einen viereckigen Ausschnitt, in welchen ein Satz Rahmen hineinpaßt, die zur Aufnahme und Befestigung der photographischen Platten dienen. Hinter dem Ausschnitt befindet sich eine matt-

geschliffene Glasscheibe. Um die Betrachtung der Platten bei Tageslicht zu ermöglichen, ist die Rückwand des Schaukastens herausnehmbar angeordnet. Die zur Beleuchtung dienenden Glühlampen sind so im Innern des Schaukastens angeordnet, daß nur das reflektierte Licht die Platte erhellt, um eine möglichst homogene Beleuchtung derselben zu erzielen.

19. Stereoskopische Röntgenbilder

kann man dadurch herstellen, daß man von einem Objekt zwei verschiedene Aufnahmen macht, bei denen die Mitte der Röntgenröhre um etwa 7 cm verschoben wurde. Natürlich müssen beide Aufnahmen nacheinander gemacht werden, und darf weder das Objekt verschoben, noch sonst eine der Expositionsbedingungen geändert werden.

Zu solchen Doppelaufnahmen benutzt man vorteilhafterweise eine besonders dazu eingerichtete Röntgen-Stereoskopkassette. Dieselbe besteht aus einem Holzfutteral, in welchem sich eine besondere Kassette, welche die Platte enthält, verschieben läßt. Diese Platte wird doppelt so breit genommen, als für eine Aufnahme des Objektes nötig wäre, so daß also auf diese Platte zwei Aufnahmen nebeneinander gemacht werden können. Die beiden Seiten der Stereoskopkassette sind mit 3 mm starkem Zinkblech bedeckt, welches keine Röntgenstrahlen durchläßt; in der Mitte befindet sich ein mit dünnem Aluminiumblech bedeckter 25 cm breiter Ausschnitt. Auf dieses Aluminiumblech, welches Röntgenstrahlen fast ungehindert durchläßt, wird der abzubildende Gegenstand gelegt, und es können nun durch Verschiebung der inneren Kassette mit der Platte nach rechts oder links zwei Aufnahmen gemacht werden, ohne daß das Objekt auf der Aluminiumplatte seine Lage zu ändern hätte, nur die Röhre wird um den Augenabstand verschoben.

Um diese zwei erhaltenen Bilder in ein körperlich erscheinendes Bild zu vereinigen, kann man auf zweierlei Art verfahren. Entweder man verkleinert sie photographisch auf das gebräuchliche stereoskopische Format und betrachtet sie dann durch ein Stereoskop, oder man bedient sich eines Prismen- oder Linsenstereoskopes nach Dr. Walter, welches es ermöglicht, die stereoskopisch aufgenommenen Originalbilder selbst zu betrachten, wodurch wesentlich an Zeit gespart wird, da die Verkleinerung in Wegfall kommt.

Das Prismenstereoskop (Fig. 276) ist ein gewöhnliches großes Stereoskop mit verstellbaren Prismen und Sehlöchern, kann also für jede Augenachse bezw. Plattengröße und für jeden Augenabstand eingestellt werden.

Die stereoskopischen Röntgennegative werden in einen Rahmen eingeschoben, der mit Schiebern zwecks Abblendung des Nebenlichtes versehen ist.

Die Schieber werden in jedem Falle so eingestellt, daß gerade ein Ausschnitt bleibt, der das zu beobachtende Bild zur Durchsicht frei läßt.

Ein Vorzug des Prismenstereoskopes vor dem Linsenstereoskop ist der, daß bei jenem Apparat das stereoskopische Bild ungefähr in den aufgenommenen Dimensionen erscheint, während beim Linsenstereoskop die Bilder verkleinert werden.

Das Linsenstereoskop. Der Apparat besteht aus einer photographischen Camera, welche an Stelle der Mattscheibe ein kleines Stereoskop trägt. Die stereoskopisch aufgenommenen Röntgennegative werden wie beim Prismenstereoskop in einem Rahmen mit Blendenschiebern befestigt,

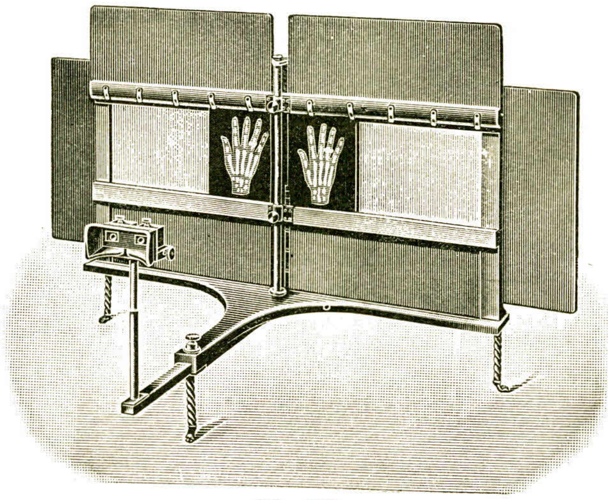


Fig. 276.

der in einer gewissen Entfernung, die sich nach der Plattengröße richtet, von der Camera aufgestellt wird.

Das Objektiv der Camera ist sehr lichtstark, der Apparat eignet sich dieserhalb auch vorzüglich zu gewöhnlichen photographischen Aufnahmen.

Mithin kann die Einrichtung auch dazu dienen, von einem paar besonders wichtiger stereoskopischer Aufnahmen eine oder mehrere verkleinerte Kopien herzustellen, wodurch die Untersuchung des Falles mehreren Interessenten ermöglicht ist.

Die Vorteile des Linsenstereoskopes dürften indessen den weiter oben erwähnten Nachteil der Bildverkleinerung kaum aufwiegen.

Die mit diesen Stereoskopen zu erzielenden Resultate sind ausgezeichnete, der stereoskopische Effekt ist vollkommen, und eignet sich diese Methode daher sehr gut zur Besichtigung innerer Organe, namentlich auch, wenn es

sich um zeitliche Veränderungen derselben handelt. Auch zur genauen Lokalisation von Fremdkörpern eignet sich diese Methode; die Ausmessung kann nach den auf Seite 193 bis 196 beschriebenen Prinzipien auf der Photographie erfolgen oder mittels des Mackenzie-Davidsonschen Lokalisationsapparates.

20. Apparat zum Lokalisieren von Fremdkörpern nach Mackenzie-Davidson.

Dies Verfahren ist derart, daß zunächst eine stereoskopische photographische Aufnahme des betreffenden Körperteils gemacht wird, bei der als Orientierung ein Fadenkreuz aus Metall dient. Vor der Aufnahme wird das Kreuz mit Anilinfarbe angestrichen, so daß es sich sowohl auf dem betreffenden Körperteil abdruckt, als auch infolge seines Materials auf den beiden photographischen Aufnahmen vom Bilde abhebt.

Der Aufnahmeapparat, ein zerlegbarer Aufnahmetisch, hat dementsprechend an einer geeigneten Stelle einen viereckigen Ausschnitt genügender Größe, welcher mit einem Trommelfell abgedeckt ist. Unter dem Trommelfell ist ein nach unten aufklappbares Kästchen angebracht, in welches die photographischen Platten eingelegt werden. Das oben erwähnte Metallkreuz ist über das Trommelfell gespannt, auf welches das zu photographierende Objekt zu liegen kommt.

Die Röntgenröhre wird an einem Gestell befestigt, welches über dem Trommelfell aufgebaut ist.

Die Entfernung der Antikathode der Röhre von der Platte, sowie die seitliche Verschiebung der Röhre kann direkt abgelesen werden.

Alsdann erfolgt die Lokalisierung durch eine sinnreiche Einrichtung durch Fadenkreuze, welche in der Richtung des mittleren Röntgenstrahls eingestellt werden. Die Ablesung erfolgt dann direkt durch Maßstab und Winkel.

Der diesen Zwecken dienende Meßtisch, ebenfalls zerlegbar und transportabel, enthält in einem rechteckigen Ausschnitt der Tischplatte eine geschliffene Glasplatte, auf welcher ein Kreuz eingesetzt ist.

Ein galgenartiges Gestell, das an dem Tisch festgeschraubt ist, dient zur Befestigung von zwei Seidenfäden, mit denen die Messung ausgeführt wird.

Die Befestigungsstellen selbst können in der Höhe verschoben werden, wobei ihr Abstand von der Glasplatte an einer Skala abgelesen werden kann.

Ferner muß bemerkt werden, daß die Befestigungsstellen der Fäden um Augenabstand voneinander entfernt sind und daß sie sich genau über dem Mittelpunkt des vorerwähnten Kreuzes symmetrisch zu diesem befinden.

Die unteren Enden der Fäden sind durch ein Nadelöhr gezogen, während die Nadeln ihrerseits wieder in kahnförmigen Bleiklötzen stecken.

Die Messung erfolgt nun in der Weise, daß die von dem betreffenden Objekt hergestellten beiden Platten durchgepaust werden, und zwar beschränkt man sich darauf, nur den Fremdkörper zu zeichnen, nachdem man vorher ein Kreuz auf das Pauspapier markiert hat, welches sich beim Durchpausen jedesmal mit dem Bilde des Metallkreuzes auf den Platten genau decken muß. Infolge der Aufnahme von zwei verschiedenen Fluchtpunkten wird die gewonnene Pause zwei Fremdkörper aufweisen.

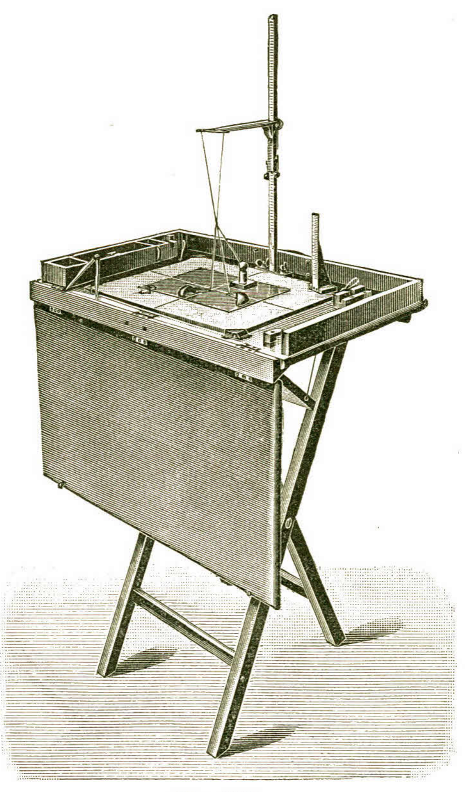


Fig. 277.

Jetzt wird die Zeichnung so auf die Glasplatte des Meßtisches gelegt, daß sich das auf jener befindliche Kreuz mit dem der Glasplatte deckt.

Die Meßstange, an der sich die Befestigungspunkte der vorerwähnten Fäden befinden, wird nun so lange verschoben, bis die Punkte genau dieselbe geometrische Lage zur Zeichnung haben, wie vordem die Antikathode der Röhre zu den photographischen Platten. Die Bleiklötze, an denen die Fäden befestigt sind, werden so auf die Pause gestellt, daß die Nadelöhre über der Mitte der beiden Fremdkörperprojektionen stehen und die Fäden selbst sich kreuzen.

Die Fäden stellen also den Verlauf des Röntgenstrahles der Aufnahme dar, der durch die Mitte des Fremdkörpers ging. Nach dieser Analogie muß die Lage des Fremdkörpers im Körper des Patienten genau der Kreuzungsstelle der Seidenfäden entsprechen und ist es nur notwendig, die drei Koordinaten vom aufgezeichneten Kreuz durch Maßstab oder andere geeignete Meßvorrichtungen, die dem Apparat beigefügt werden, zu messen, um hierdurch den Fremdkörper auf das genaueste zu lokalisieren. Das auf dem Körper des Patienten abgedruckte Metallkreuz dient dabei zur Orientierung.

Statt zwei Aufnahmen auf zwei Platten zu machen, können jene auch auf einer Platte gemacht werden.

Man kann in diesem Falle die photographische Platte direkt zur Messung benutzen, die Herstellung einer Pause vom Fremdkörper fällt fort.

Die Platte wird so auf die Glasscheibe des Meßtisches gelegt, daß sich die mehrfach erwähnten Kreuze decken.

Zur Beleuchtung der Platte bei der Messung dient ein unterhalb der Glasscheibe angebrachter verstellbarer Spiegel, dessen Stellung so lange veränderl wird, bis die Bildhelligkeit am größten ist. Fig. 277 zeigt einen von der Firma Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen konstruierten Meßtisch. Die mit solchem Apparat erzielten Messungen sind sehr genau, weil sie direkt aus Längenmessungen ohne Zuhilfenahme von Formeln ausgeführt werden.

Elftes Kapitel.

Röntgen-Einrichtungen.

Die kompletten Einrichtungen zur Erzeugung von Röntgenstrahlen schließen sich eng an die bereits früher beschriebenen Instrumentarien zum Betriebe von Induktoren an (vergl. Seite 149 bis 156). Es treten nur noch die Röntgenröhre, das Stativ und die vorher beschriebenen Nebenapparate, von denen der Fluoreszenzschirm der wichtigste ist, hinzu. Fig. 278 stellt

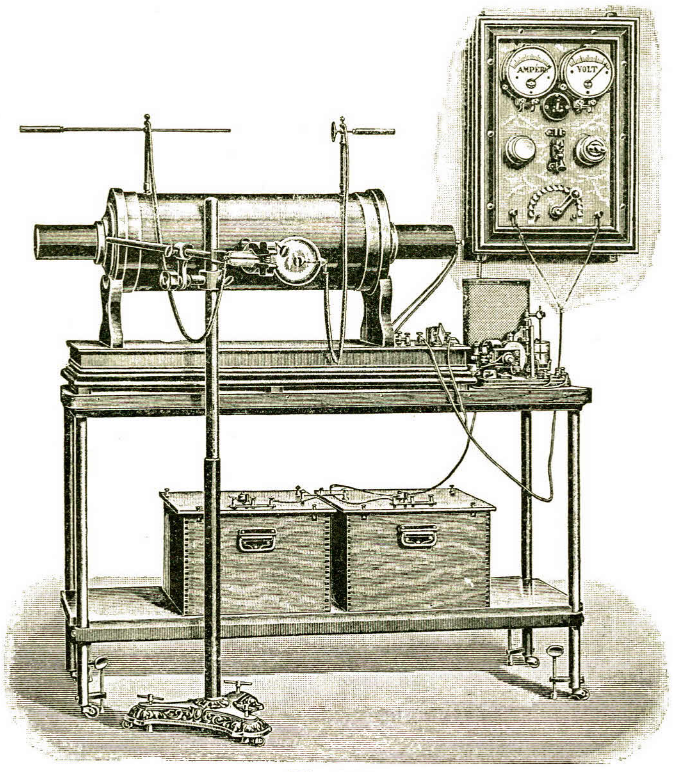


Fig. 278.

z. B. ein solches komplettes Instrumentarium mit Akkumulatorenbetrieb dar. Die Röntgenröhre auf Stativ ist mittels Hochspannungskabeln angeschlossen. Die Nebenapparate sind auf einer Schalttafel vereinigt. Derartige Einrichtungen werden von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen geliefert.

Fig. 279 zeigt eine Einrichtung für Wechselstromanschluß, wie

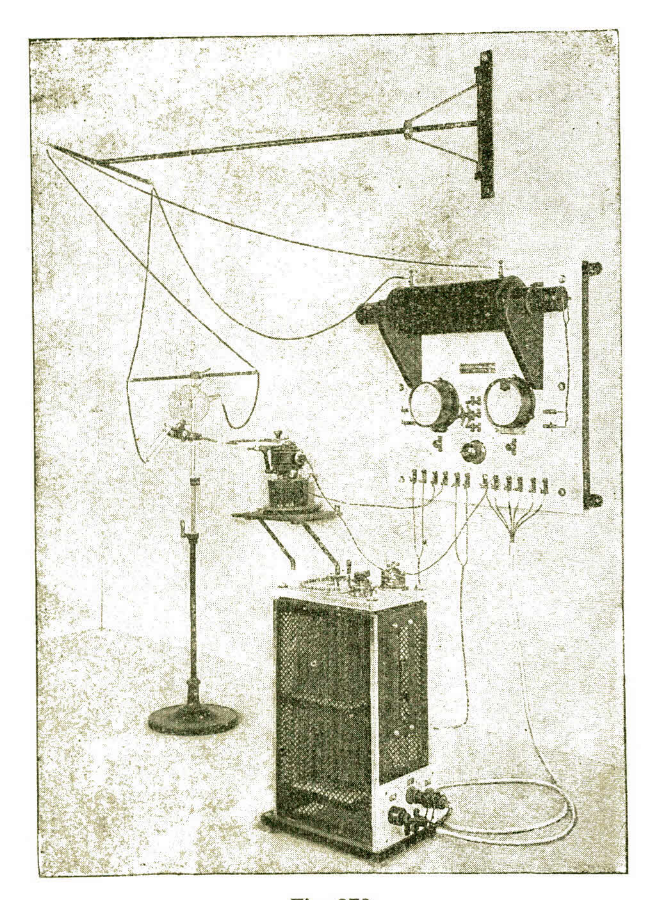


Fig. 279.

solche von der Allgemeinen Elektrizitäts-Aktiengesellschaft in Berlin hergestellt wird. Der Induktor ist mit den Meßinstrumenten gemeinsam auf einer Wandtafel angebracht, während die erforderlichen Regulierwiderstände und der Ausschalter in einem Tisch untergebracht sind. Der Wechselstrom-Turbinen-Unterbrecher (vergl. Seite 112) ist auf einem Wandkonsol, die Röntgenröhre auf einem Bodenstativ befestigt. Besondere Sorgfalt ist auf die Zuführungsleitungen des Hochspannungsstromes vom Induktor zur Röntgenröhre

verwendet. Die Schalttafel ist mit einer Einrichtung versehen, um Akkumulatoren mittels des Wechselstrom-Turbinen-Unterbrechers laden zu können.

Einfacher gestalten sich die Einrichtungen bei Anwendung eines Flüssigkeits-Unterbrechers, wie solche von Max Kohl in Chemnitz geliefert und durch Fig. 280 veranschaulicht werden. Diese Einrichtung,

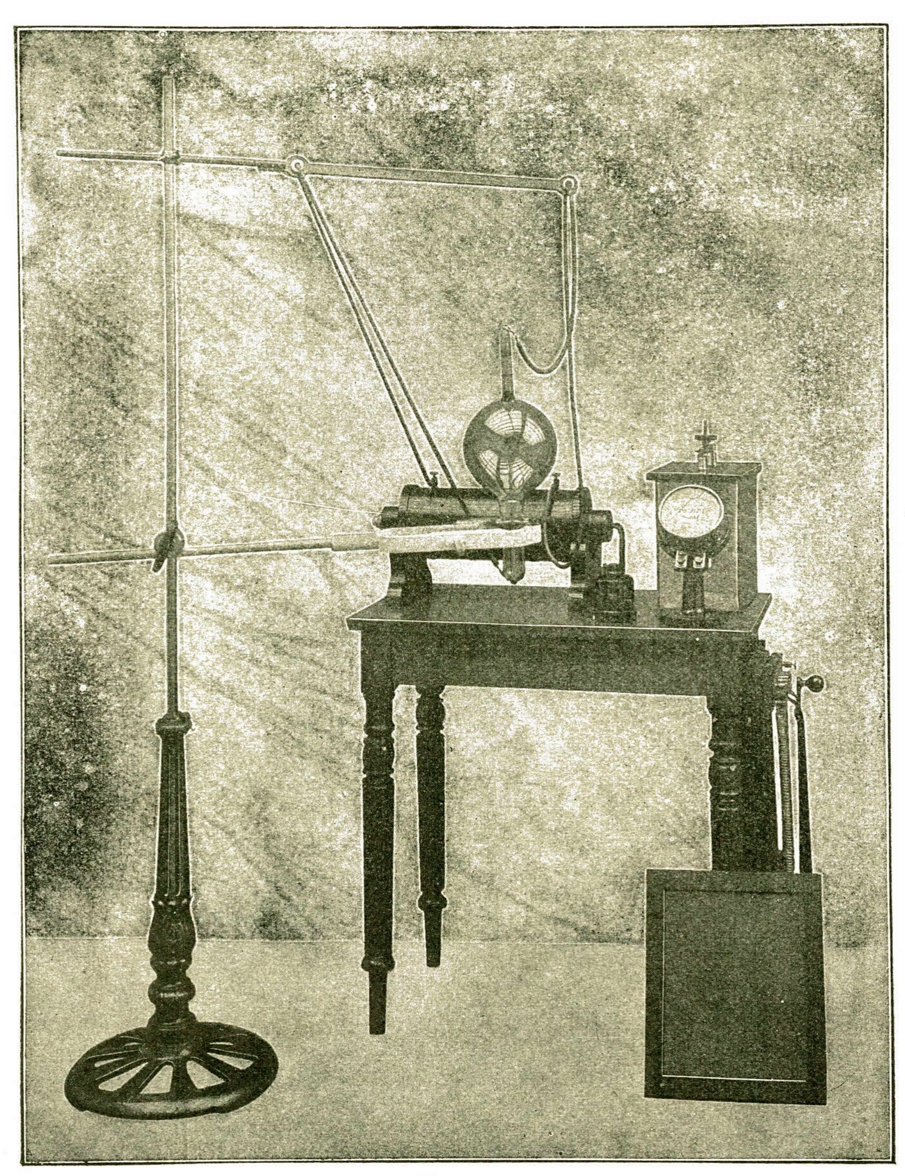


Fig. 280.

welche mit einem einfachen Wehnelt-Unterbrecher und unter Benutzung nur einer Primärspulenwicklung ausgestattet ist, stellt sich im Preise außerordentlich billig, ebenso wie die von Dr. Max Levy in den Handel gebrachte »billige Röntgeneinrichtung«, welche mit einem Plättchen-Unterbrecher ausgestattet ist (vergl. Fig. 216) und damit, wie an anderer Stelle (vergl. Seite 107) auseinandergesetzt wurde, in weiten Grenzen variabel ist und allen Anforderungen genügen dürfte, die an eine Röntgeneinrichtung gestellt werden können.

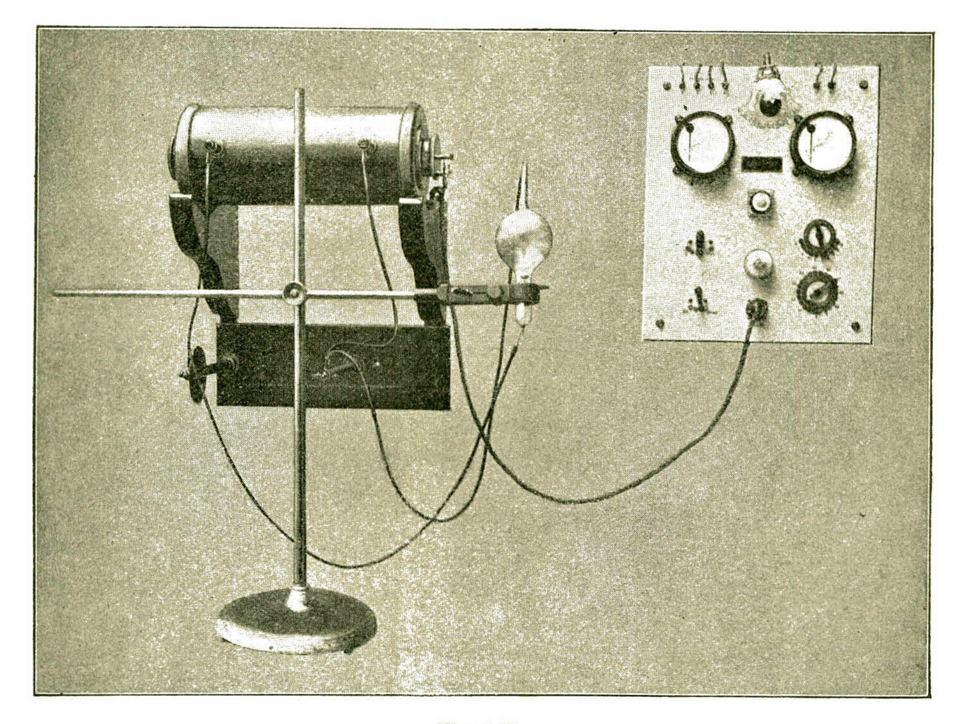


Fig. 281.

Das gleiche kann in viel vollkommener, allerdings auch viel komplizierterer Weise mit einem mehrteiligen Wehnelt-Unterbrecher und einer Primärspule mit variabler Selbstinduktion erreicht werden (Walter-Schaltung).

In Fig. 281 ist eine derartige Röntgeneinrichtung von Siemens & Halske in Berlin mit Funkeninduktor für 40 cm Funkenlänge auf Konsol, dreiteiligem Wehnelt-Unterbrecher, und der auf Seite 138 bis 140 bereits beschriebenen Schalttafel abgebildet (Schaltungs-Schema vergl. Fig. 205).

Fig. 282 zeigt eine sehr große Einrichtung dieser Art mit Funkeninduktor für 1 m Funkenlänge im Röntgen-Laboratorium des Kgl. Instituts

zur Untersuchung mit Röntgenstrahlen, gleichfalls von Siemens & Halske in Berlin geliefert.

In Fig. 283 und 284 sind endlich zwei Einrichtungen mit Walter-Schaltung mit den auf Seite 139 bis 141 beschriebenen Schalttischen abgebildet, wie solche von Siemens & Halske in Berlin und Seifert in Hamburg in den Handel gebracht werden.

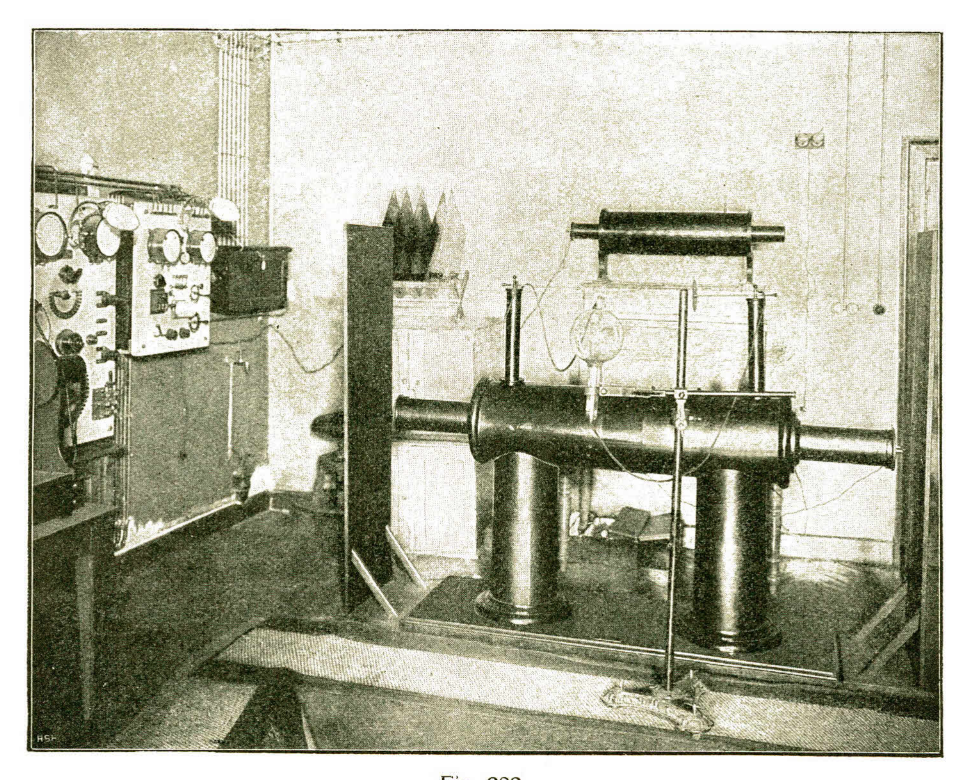


Fig. 282.

Noch vollständiger ist endlich die in Fig. 285 dargestellte komplette Röntgeneinrichtung nach Dr. Walter für abwechselnden Betrieb durch dreiteiligen Wehnelt- und Quecksilberstrahl-Unterbrecher mit Vorrichtung zur Unterdrückung des sekundären Schließungsstromes von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.

Transportable Röntgeneinrichtungen werden ihrem Zwecke nach in der verschiedensten Weise hergestellt.

Fig. 286/287 stellt eine möglichst kompendiöse Röntgeneinrichtung mit Platin-Unterbrecher, Induktor und Röntgenstativ in einem verschließbaren

Kasten eingebaut, dar, wie solche Rosenberg & Co. in London liefern. Die zum Betriebe erforderliche Akkumulatorenbatterie ist in besonderen Kästen untergebracht.

Die von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen konstruierte transportable Röntgeneinrichtung (Fig. 288) ist sowohl für Akkumulatoren- wie auch für Anschluß-Betrieb eingerichtet, und zwar dient ein Platin-Unterbrecher für erstgenannte und ein anzuschließender Wehnelt-Unterbrecher für letztgenannte Betriebsart.

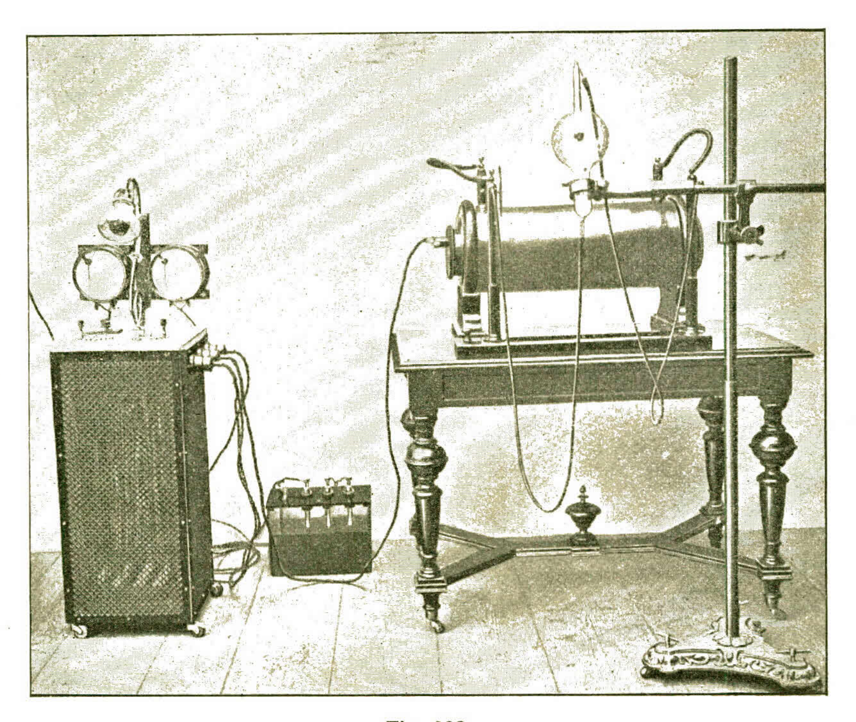


Fig. 283.

Etwas größer und vollständiger ist die in einem fahrbaren, viertürigen Kasten untergebrachte Dr. Max Levysche Einrichtung, welche aus Induktor mit Stativ, Unterbrecher, Röntgenröhrenkästen, Fluoroskop, Verbindungsschnüren und Kassetten gebildet wird. Die zum Betriebe nötigen Akkumulatoren befinden sich in besonderen tragbaren, in Fig. 289 zu erkennenden Kästen. Ähnlich ausgeführt ist die fahrbare Röntgeneinrichtung von Cox in London, die Fig. 290 wiedergibt.

Eine fahrbare Einrichtung für Militärzwecke, einen sogenannten »ambulanten Feld-Röntgenapparat«, hat die Aktien-Gesellschaft

Siemens & Halske in Berlin hergestellt, der auch bereits im ostasiatischen Feldzuge zur Verwendnng gekommen ist (Fig. 291). Der Apparat ist in

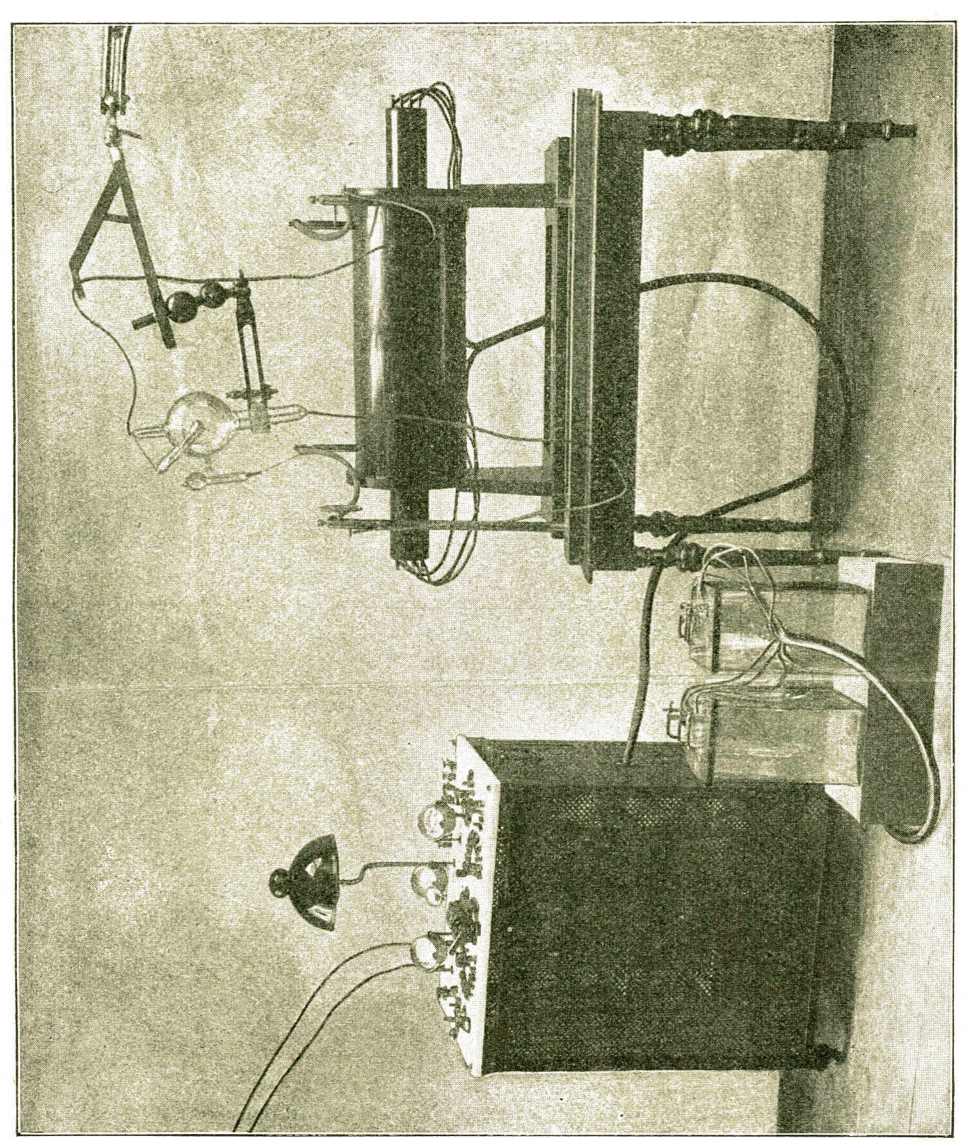


Fig. 284.

zwei aneinander gehängten Wagen, nach Art der Artillerie-Protzwagen gebaut, untergebracht. Der vordere Wagen dient dem Führer zum Sitz und enthält im wesentlichen nur Ersatzteile; im zweiten, dem Anhänge-

wagen, befindet sich eine Dynamomaschine als Stromquelle, die durch einen Benzinmotor von drei Pferdestärken angetrieben wird, Induktor, Unterbrecher und die Hilfsapparate. Dynamomaschine und Motor sind fest auf dem Wagen montiert, die anderen Apparate können sowohl auf dem Wagen betrieben, als auch von diesem abgenommen und in einem

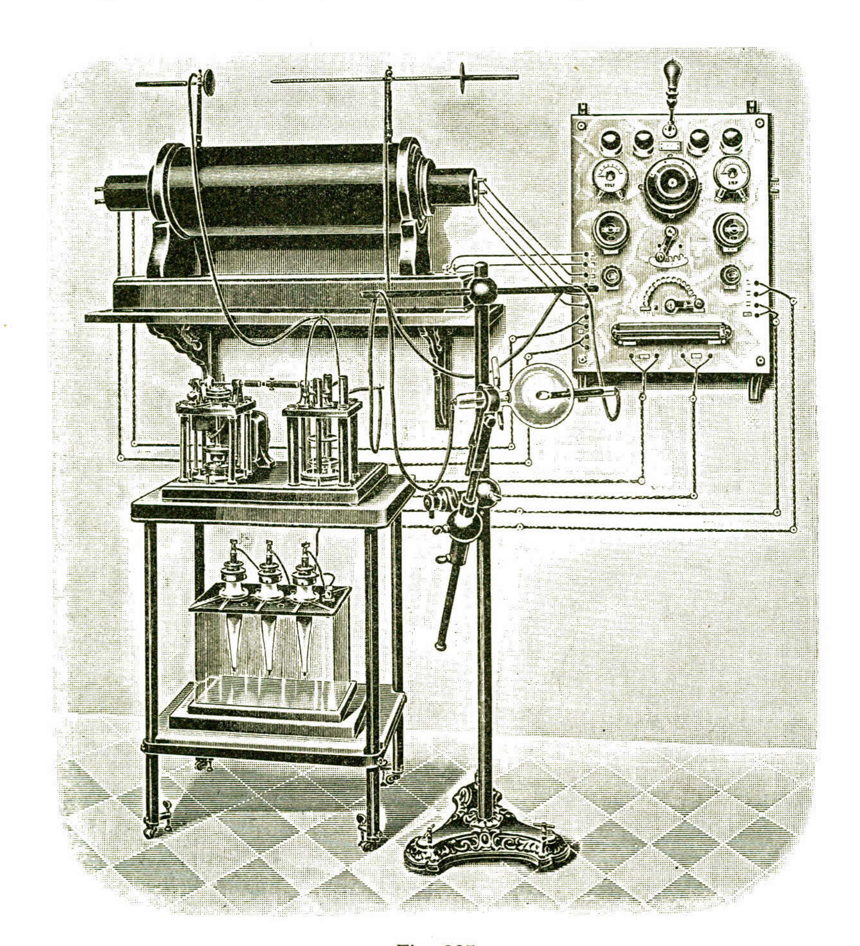


Fig. 285.

Beobachtungsraum aufgestellt werden. Die Maschinenstation kann also im Freien bleiben, wodurch Geräusch und Geruch vom Arbeitszimmer ferngehalten werden. Ein Mann genügt für die Bedienung der Maschine; er hat nur auf den gleichmäßigen Gang des Motors zu achten. Damit letzterer nicht durchgeht, ist der Ausschalter des Induktors zugleich Einschalter eines Belastungswiderstandes. Der Benzinmotor ist wegen

seiner augenblicklichen Betriebsfertigkeit gewählt; als Unterbrecher sind zwei Loch-Unterbrecher vorhanden, von denen der eine als Reserve dient und durch Betätigung eines Umschalters sofort in Betrieb genommen werden kann. Hierdurch ist eine Betriebssicherheit erreicht, wie sie von keinem Platin- oder Quecksilber-Unterbrecher gewährleistet werden kann.

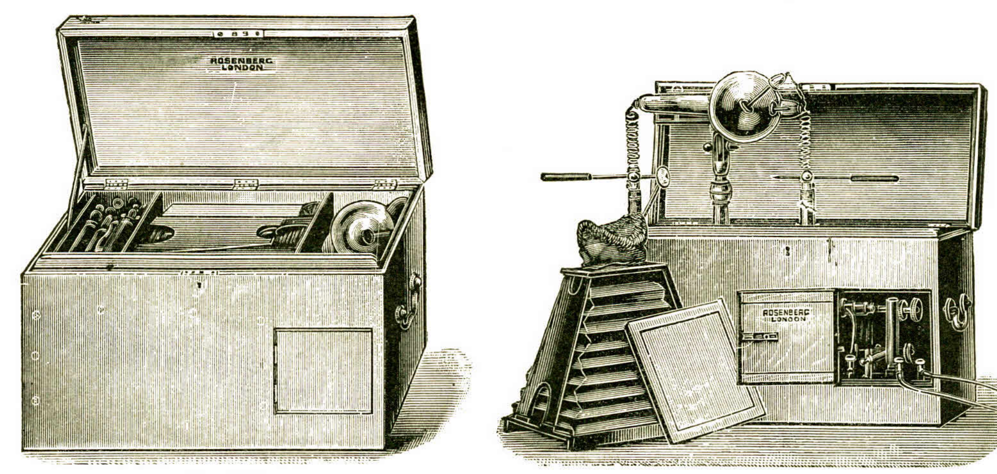


Fig. 286. Fig. 287.

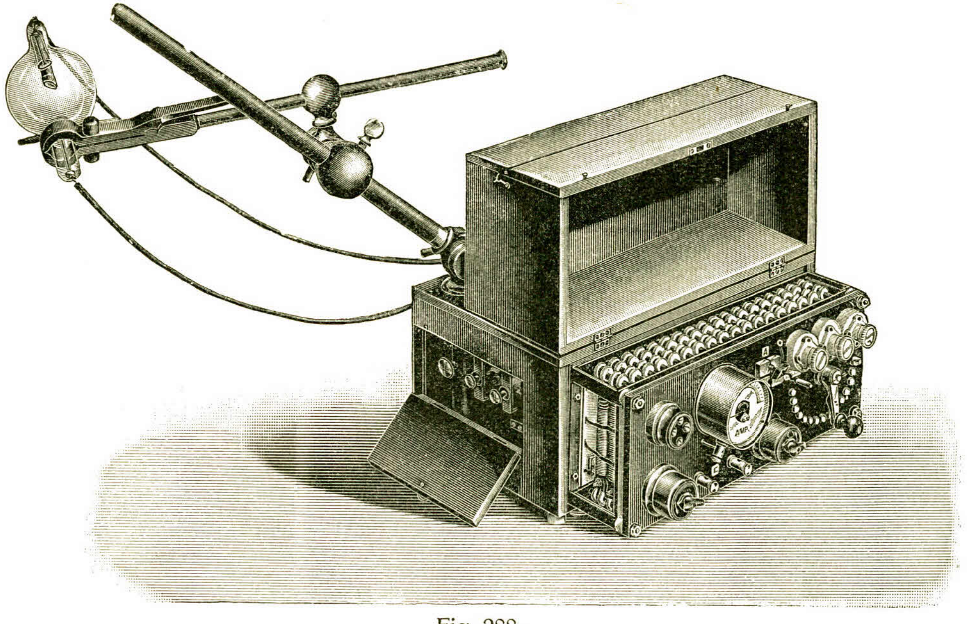


Fig. 288.

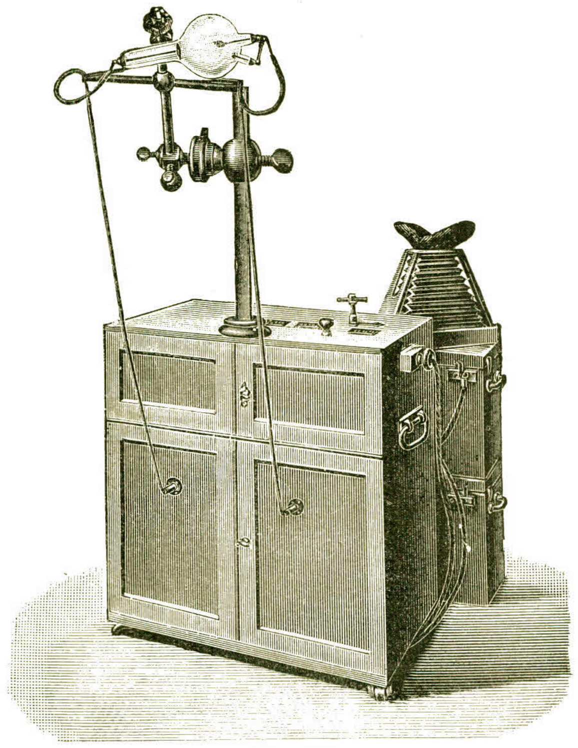


Fig. 289.

Auch fallen der sonst nötige Kondensator und die komplizierten Schaltungen fort.

Dem Wagen sind einige Glühlampen beigegeben, um im Beobachtungszimmer jederzeit Licht machen zu können; an der Schalttafel sind dazu geeignete Stöpselkontakte vorhanden. Beim Einschalten des Induktors erlöschen die Lampen selbsttätig. Photographische Apparate werden auf besonderen Wunsch beigegeben. Eine derartige Einrichtung kostet etwa 8000 Mark.

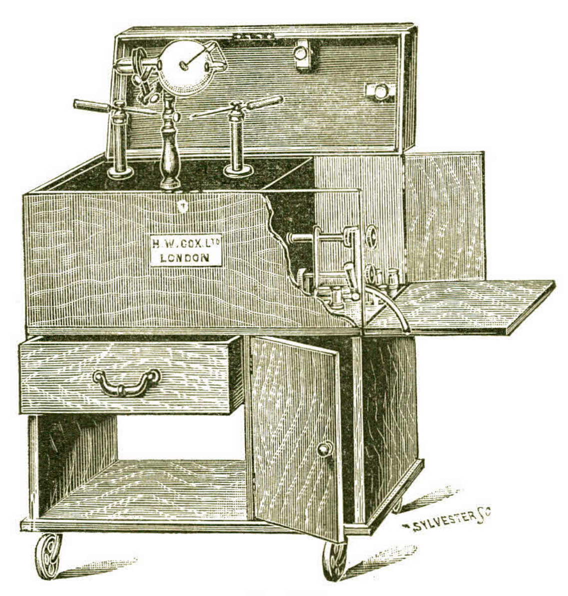


Fig. 290.

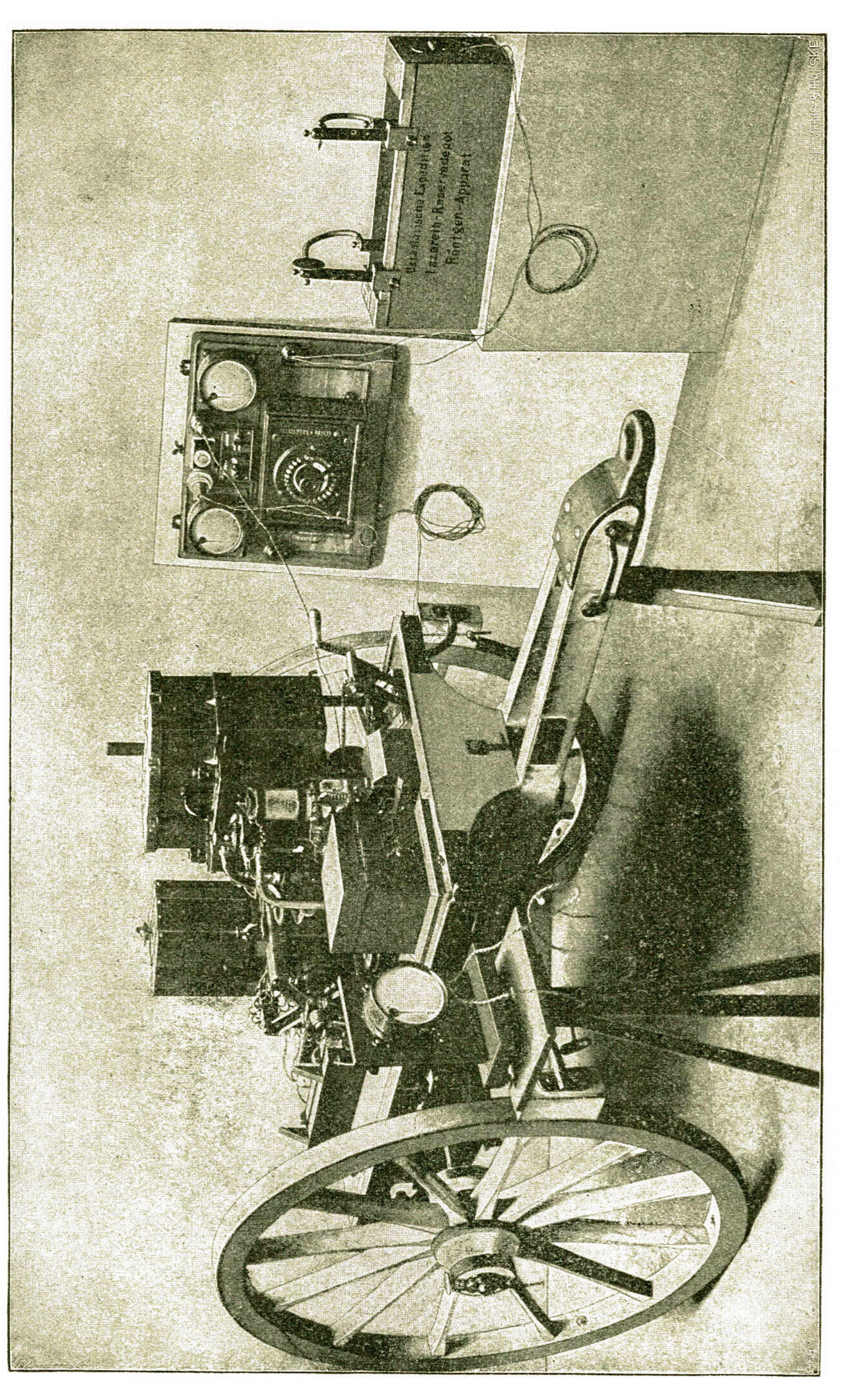


Fig. 291.

Zwölftes Kapitel.

Preise vollständiger Röntgen-Einrichtungen.

Da die Kosten der Röntgenapparate bei den verschiedenen Firmen nicht wesentlich differieren, ist es möglich, über dieselben ein Bild in Form eines Diagramms zu geben. In Fig. 292 und 293 sind solche nach Dr. Max Levys Preisliste für Gleichstrom- und Wechselstrombetrieb gezeichnet:

a) bei Gleichstrombetrieb.

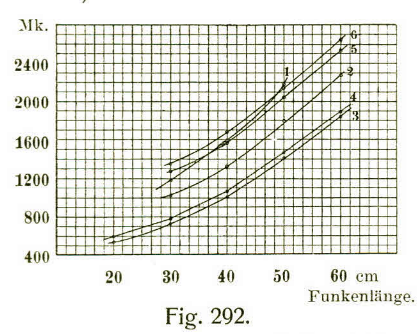


Fig. 292.

1. Batteriebetrieb mit Quecksilberstrahl-Unterbrecher. 2. Anschlußbetrieb mit Quecksilberstrahl-Unterbrecher. 3. Desgl. mit Loch-(Plättchen-)Unterbrecher. 4. Desgl. mit mehrteiligem Wehnelt-Unterbrecher. 5. Mit Strahl- und Loch-(Plättchen-)Unterbrecher. 6. Desgl. mit Strahl- und mehrteiligem Wehnelt-Unterbrecher.

b) bei Wechselstrom-(Drehstrom-)Betrieb.

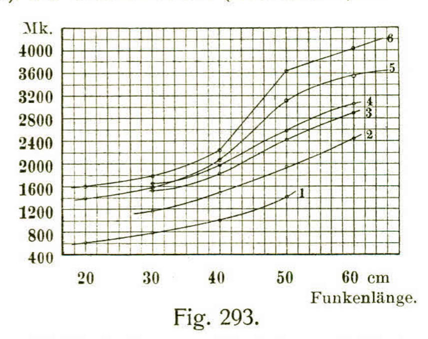


Fig. 293.

1. Für Wechselstrom und Drehstrom mit Flüssigkeits-Unterbrecher. 2. Desgl. mit synchron laufendem Quecksilberstrahl-Unterbrecher. 3. Mit Drehstrom-Umformer und Quecksilberstrahl-Unterbrecher. 4. Mit Wechselstrom-Umformer und Quecksilberstrahl-Unterbrecher. 5. Mit Drehstrom-Umformer und mehrteiligem Wehnelt-Unterbrecher. 6. Mit Wechselstrom-Umformer und mehrteiligem Wehnelt-Unterbrecher.

Dreizehntes Kapitel.

Anwendung der Röntgenstrahlen.

Die Fähigkeit der Röntgenstrahlen, durch für unser Auge undurchsichtige Körper zu dringen, die zu ihrer Entdeckung geführt und anfänglich ungeheueres Aufsehen erregt hat, bildet auch heute noch die fast ausschließliche Anwendung derselben.

Vor allem hat sich die Chirurgie ihrer bemächtigt, um die Lage von Fremdkörpern zu ermitteln, Blasen- und Nierensteine festzustellen, oder um Knochenbrüche, Knochenkrankheiten und Verrenkungen zu besichtigen.

Während sich für chirurgische Zwecke vornehmlich die Radiographie eignet, ist für die innere Medizin die Radioskopie ein äußerst wertvolles Hilfsmittel für die Feststellung des krankhaften Zustandes von inneren Organen des menschlichen Körpers, wie Lunge, Herz etc., namentlich wenn es sich um Veränderungen der einzelnen Teile handelt, gestattet sie eine gute Ergänzung der sonstigen physikalischen Diagnostik.

In therapeutischer Hinsicht hat sich herausgestellt, daß die häufige und übermäßige Anwendung der Röntgenstrahlen bösartige Hautentzündungen (Röntgendermatitis) hervorzurufen imstande ist, daß aber ihre mäßige Anwendung zum mindesten bakterientötend wirkt und somit nützlich werden kann.

Außer für medizinische Zwecke sind neuerdings die Röntgenstrahlen auch für technische Zwecke verwendet worden, zur Untersuchung von echten und unechten Edelsteinen und Perlen, von gefälschten Nahrungsmitteln und technischen Produkten, von Dichtigkeitsfehlern in verschiedenen Materialien.

Außerdem benutzen sie mit Vorteil die Zollbehörden, um z. B. die in einer großen Holzkiste unter Leinwandballen sorgfältig verborgenen Taschenuhren, die aus der benachbarten Schweiz einzuschmuggeln versucht werden könnten, zu entdecken.

Vierzehntes Kapitel.

Wechselströme hoher Frequenz und Spannung.

Ein unterbrochener Gleichstrom oder Wechselstrom wird um so stärkere Induktionsströme erzeugen, je öfter er sich ändert, und zwar nicht nur, weil der Induktionsstrom jedesmal bei einer Änderung des ursprünglichen Stromes auftritt, sondern auch deshalb, weil die einzelnen Änderungen des primären Stromes sich schneller vollziehen. Denn von der Schnelligkeit der Zu- und Abnahme des induzierenden Stromes ist die Spannung des in der sekundären Spule induzierten Stromes abhängig.

Nicola Tesla war der erste, der Wechselströme von einer Frequenz bis zu 30000 in einer Sekunde auf mechanischem Wege erzeugte, indem er vielpolige Wechselstrommaschinen konstruierte.

Bedeutend einfacher lassen sich derartige Ströme erzeugen, indem man Leydner Flaschen anwendet (W. Thomson).

Führt man der einen Belegung einer solchen Flasche Elektrizität zu, so wird in dem anderen Belag die entgegengesetzte Elektrizität gebunden, und man kann auf diese Weise in den Belegungen der Flasche große Elektrizitätsmengen aufspeichern; die Flasche ist geladen. Verbindet man nun die beiden Belegungen der Flasche durch einen Draht, so gleichen sich die aufgespeicherten Elektrizitätsmengen plötzlich unter einem heftig knallenden Funken aus und die Flasche ist nunmehr bis auf einen kleinen Rest entladen. Dieser Vorgang vollzieht sich indessen, wie Feddersen (1857) zuerst experimentell nachgewiesen hat, nicht in einem einfachen Ausgleich der beiden ungleichnamigen Elektrizitäten, sondern in Form eines Wechselstromes von ganz außerordentlich hoher Frequenz; es findet ein Hin- und Herschwanken der Elektrizität mit über 200000 Wechseln in einer Sekunde statt. In Fig. 294 sind zwei solcher Entladungen schematisch in Form einer Kurve dargestellt.

Um sich diesen Ausgleich an einem Beispiel klar zu machen, denke man sich zwei, durch ein weites kommunizierendes Rohr verbundene Gefäße mit Wasser zum Teil gefüllt, doch so, daß in dem einen Gefäß das Wasser höher steht als in dem anderen, indem ein Hahn das Kommunikationsrohr abschließt. Wird der Hahn plötzlich geöffnet, so wird das Wasser aus dem einen Gefäß, in dem es höher steht, nach dem andern fließen. Jedoch stellt sich das Gleichgewicht nicht sofort ein, vielmehr schießt das Wasser infolge der Trägheit seiner Masse zunächst über die Gleichgewichtslage hinaus, so daß es nun im zweiten Gefäß höher als im ersten steht und es findet nun ein Rückfluß nach dem ersten Gefäße statt. Somit wird erst nach öfterem Hin- und Herschwanken die immer kleiner ausfallende Niveaudifferenz schließlich Null werden. Ähnlich kann man sich den Vorgang bei der Entladung einer Leydner Flasche vorstellen, und wird

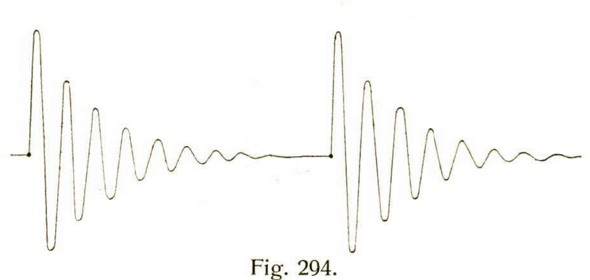


Fig. 294.

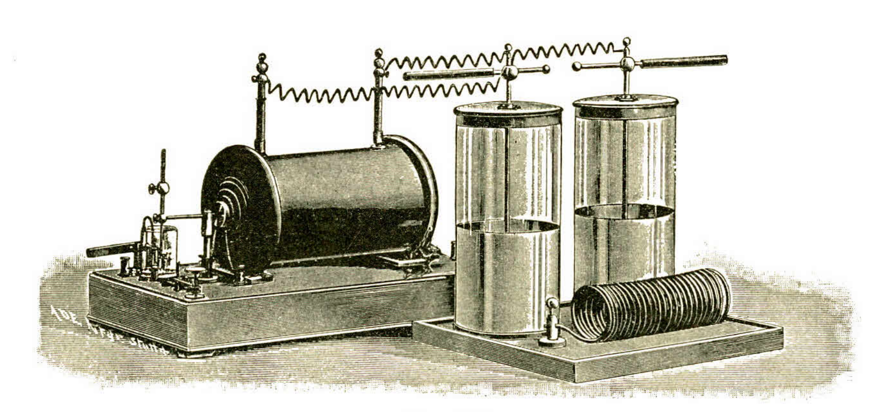


Fig. 295.

aus diesem Beispiel zugleich klar, daß die Schwankungen um so schneller ausfallen müssen, je kleiner die Flasche ist. Wir werden später sehen, daß dies bei der oscillatorischen elektrischen Entladung einer Flasche tatsächlich der Fall ist; wir haben es somit mit elektrischen Schwingungen zu tun.

Das Laden der Leydner Flasche kann mit dem hochgespannten Wechselstrom eines Transformators oder, in Ermangelung eines solchen, mit einem Funkeninduktor erfolgen. Eine derartige Anordnung ist in Fig. 295 abgebildet.

Ein von irgend einer Stromquelle gespeister Induktor liefert den hochgespannten Strom zum Laden zweier Leydner Flaschen. Die Polklemmen der sekundären Wicklung sind zu diesem Zwecke durch Drähte mit den Kugelknöpfen der Flaschen verbunden und die Entladerkugeln derselben befinden sich in regulierbarem Abstande. Die äußeren Belegungen der Flaschen sind durch eine Drahtspule mit geringer Windungszahl kurz geschlossen. Springen zwischen den Entladerknöpfen der Flaschen Funken über, so finden in der Drahtspirale entsprechende Ausgleichs-Wechselströme in Form von elektrischen Schwingungen statt.

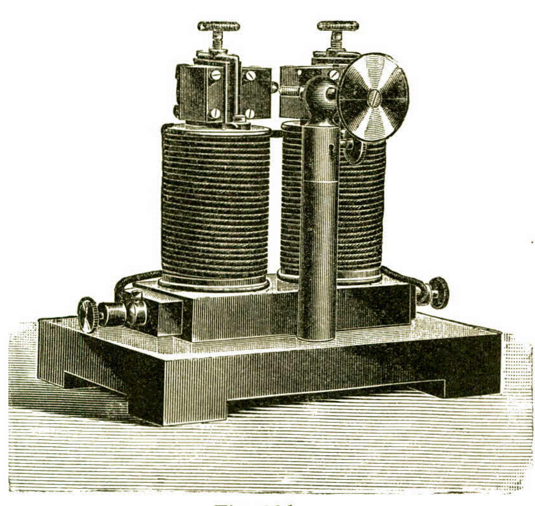


Fig. 296.

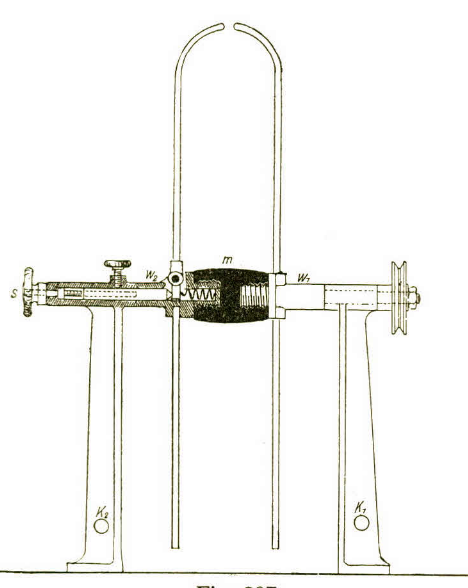


Fig. 297.

Zur besseren Wirkung des Apparates ist es vorteilhaft, die Entladungsknöpfe der Flaschen aus Zink oder Aluminium herzustellen, und damit kein dauernder Flammenbogen, sondern möglichst schnell abreißende Funken entstehen, die Entladungsfunken abzublasen. Dies kann mit einem gewöhnlichen Luftgebläse oder einem magnetischen Gebläse erfolgen (vergl. Fig. 296). D'Arsonval hat zu dem gleichen Zweck einen rotierenden Funkenlöscher angegeben, der mit dem Gebläse das Ausblasen der Funken und die Kühlung der Zinkkugeln durch einen Luftstrom gemein hat, sich jedoch vorteilhaft durch seine geringen Anschaffungskosten, mäßigen Energieverbrauch, größere Haltbarkeit, Regulierbarkeit und Betriebssicherheit vom gewöhnlichen Gebläse

auszeichnet. Der »Exploseur rotatif« besteht aus zwei kurzen Metallwellen W^1 W^2, die durch eine Ebonitmuffe M miteinander zu einer Welle verbunden sind (Fig. 297). An jeder dieser Wellenhälften ist in einer Richtung normal zur Achse ein starker Draht befestigt, der in einer Zinkkugel endigt, derart, daß beide Kugeln in einer kleinen Entfernung in achsialer Richtung auseinander stehen. Diese Entfernung bildet die Funkenstrecke und ist innerhalb gewisser Grenzen durch eine Schraube S verstellbar. Wird nun die Welle W direkt an die Ankerwelle eines kleinen Elektromotors angeschraubt oder auf andere Weise in rasche Rotation versetzt, so beschreiben die Kugeln Parallelkreise von etwa 30 cm Durchmesser durch die Luft, und die Wirkung der letzteren auf die Funken ist gleich derjenigen eines energischen Gebläses auf eine ruhende Funkenstrecke. Ist der Exploseur rotatif in Tätigkeit, so werden die einzelnen Kondensatorentladungen getrennt und man sieht im Dunkeln eine prächtige Perlkette, die bald still steht, sich bald rechts, bald links herumdreht, je nach der Winkelgeschwindigkeit des Apparates, ähnlich wie bei dem früher beschriebenen Gassiotschen Rotationsapparat (S. 159).

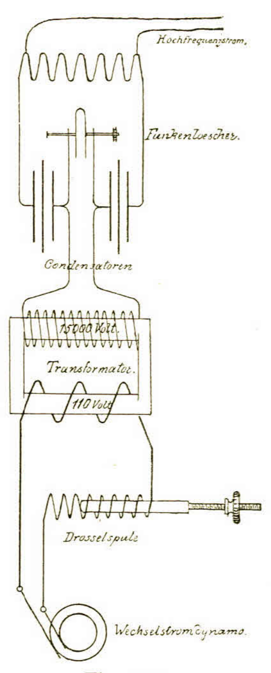


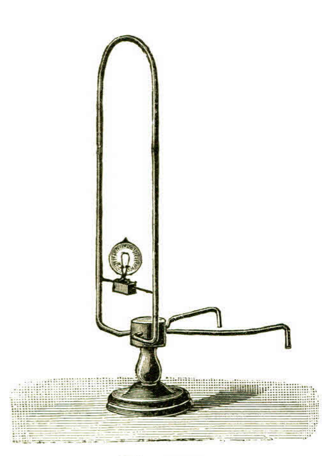
Fig. 298.

In Fig. 298 ist schematisch ein mit dem Exploseur rotatif ausgestattetes Instrumentarium nach d'Arsonval von Gaiffe in Paris dargestellt.

Ein Labourscher Transformator mit geschlossenem magnetischen Kreis wird mit einem Wechselstrom von 110 Volt gespeist und erzeugt an den Klemmen der Sekundärspule eine Spannung von 15000 Volt. Mit dieser werden zwei Plattenkondensatoren geladen, welche durch mehrere aufeinander geschichtete 2 mm dicke Mikanit- und dünne Weißblechplatten hergestellt sind. Die äußeren Belegungen dieser Kondensatoren sind mit den Enden einer aus 10 Windungen starken Kupferdrahtes bestehenden Hochfrequenzspule, die inneren Belegungen mit den Kugeln der Funkenstrecke verbunden. Aus dieser Hochfrequenzspule können durch zwei an ihre Enden angeschlossene Drähte Ströme von ganz außerordentlich hoher Frequenz entnommen werden. Führt man dieselbe z. B. durch eine kleine Drahtrolle, die unter einer Glasglocke sich befindet, so kann man durch einfaches Überschieben einer Drahtschlinge (Fig. 299), deren Stromkreis durch eine


Fig. 299.

110 Voltlampe geschlossen ist, letztere zum Leuchten bringen, ein Beweis, daß von der Drahtrolle unter der Glocke eine viel stärkere Induktionswirkung ausgeht als bei Benutzung eines Stromes von niederer Wechselzahl.


Fig. 300.

Führt man den Hochfrequenzstrom den Enden eines starken Bügels von Kupferdraht zu (Fig. 300), der mit einer Glühlampe überbrückt ist, so kann der Strom seinen Weg durch den Kupferbügel und durch die Glühlampe nehmen. Ein Gleichstrom oder Wechselstrom niederer Frequenz würde, wie bekannt, seinen Weg durch den großen Querschnitt des Kupferbügels nehmen und den Glühlampenweg wegen seines hohen Widerstandes meiden. Dem Hochfrequenzstrom dagegen bietet die Glühlampe ein leicht zu überwindendes Hindernis, wie man an ihrem Aufleuchten erkennt.

Infolge der hohen Selbstinduktion eines Leiters für Hochfrequenzströme dringen letztere nur außerordentlich wenig in die Tiefe des Leiters ein, sie verbreiten sich vielmehr nur an die Oberfläche desselben. Man bezeichnet diese für Hochfrequenzströme charakteristischen Erscheinungen als Impedenzerscheinungen.

Für den menschlichen Körper sind aus demselben Grunde die Hochfrequenzströme ungefährlich, ja sie verursachen nicht einmal nennenswerte Schmerzen, sei es, daß sich diese Ströme nur auf der äußeren Hautschicht, wo keine Nervenspitzen mehr liegen, verbreiten, oder daß unsere Nerven auf eine derartig hohe Stromwechselzahl nicht mehr reagieren.

Man hat diese Eigenschaft bald nach dem Bekanntwerden dieser Ströme benutzt, um sie in der Elektrotherapie anzuwenden, und zahlreiche Autoren haben sie als wirkungsvoll empfohlen. Sie haben nach den Mitteilungen jener Autoren einen günstigen Einfluß auf den Stoffwechsel. Der Blutdruck erleidet nach einer anfänglichen Abnahme eine schnelle Steigerung. Die Atemzüge werden vermehrt und vertieft, Harnausscheidung und Wärmeproduktion gesteigert. Die Anwendung der Hochfrequenzströme wird daher besonders bei Krankheiten, die auf Störung des letzteren zurückzuführen sind, angewendet werden können, z. B. bei Diabetes, Gicht, chronischem Rheumatismus, Anämie, Fettsucht etc. Wegen ihrer schmerzstillenden Wirkung benutzt man sie auch mit Vorteil bei den verschiedenen Neuralgien, Ischias, Migräne. Nach Oudin sind sie ferner für die erkrankte Haut und Schleimhaut von großer therapeutischer Bedeutung, und kommen hier

alle mit Jucken verbundenen Dermatosen und Dermatoneurosen in Betracht, wie Pruritus, Herpes, Ekzem, Erytheme, Psoriasis.

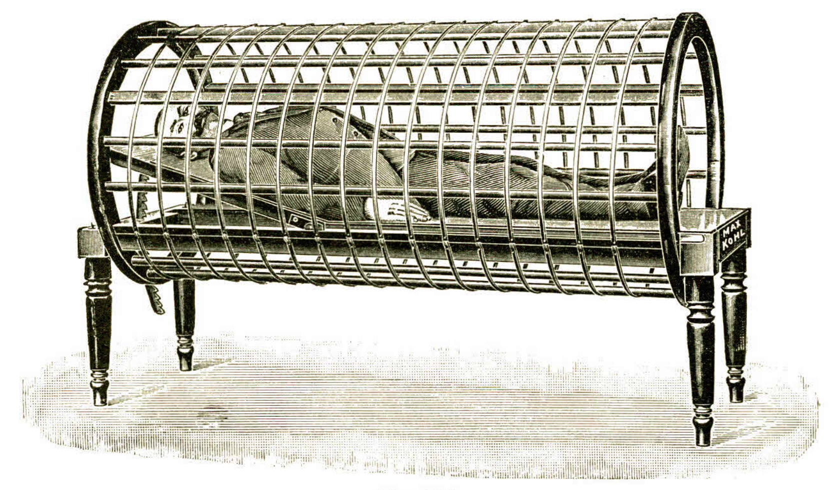


Fig. 301.

Ihre Anwendung in der ärztlichen Praxis ist um so leichter, als die Hauptbestandteile der zu ihrer Erzeugung notwendigen Instrumentarien, nämlich Funkeninduktor, Unterbrecher, Stromquelle auch zur Erzeugung der Röntgenstrahlen dienen, somit also entweder schon vorhanden sind oder zur mehrfachen Verwendung angeschafft werden können.

Die Anwendung der Hochfrequenzströme kann in zweierlei Weise erfolgen. Entweder man schaltet zwischen die beiden Leydner Flaschen eine Spirale von dickem Draht ein und führt den Strom von deren Enden durch Elektroden zum menschlichen Körper, oder man führt die Spirale so groß aus, daß der Patient in der Spirale stehend, sitzend oder liegend Platz findet (Autokonduktion nach d'Arsonval). In diesem Falle befindet sich der Patient in einem elektrischen Felde, es werden in seinem Körper hochgespannte Ströme durch Induktion hervorgerufen, ohne daß er mit irgend einem Punkte der Leitung in Berührung kommt. Fig. 301 zeigt ein derartiges Solenoid, wie es von Max Kohl in Chemnitz hergestellt wird.

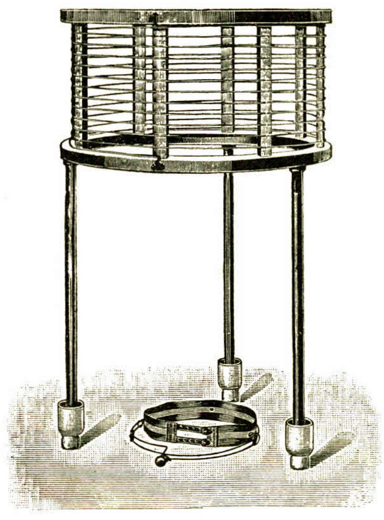


Fig. 302.

Für bestimmte Körperteile, wie z. B. Arme und Füße, können kleinere Solenoide verwendet werden (Fig. 302).

Eine lokale Applikation kann auch in der Weise erfolgen, daß der Patient auf ein Bett von isolierendem Material (gummierte Leinwand) gelegt wird, unter dem sich eine große Metallplatte (Zinkblech) befindet. Das Blech wird mit dem einen Ende der Hochfrequenzspule leitend verbunden, während der Patient durch Anfassen einer, mit dem andern Ende der Spule verbundenen Leitungsschnur gleichsam den zweiten Belag eines Kondensators bildet, vergl. Fig. 303 (Apostolisches Kondensatorbett).

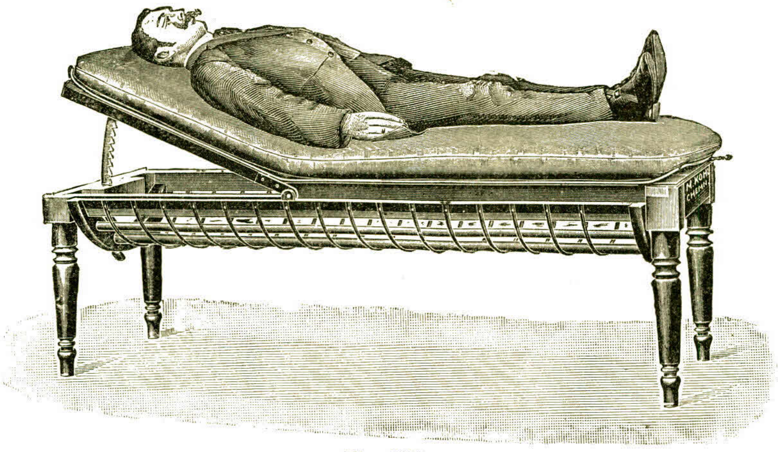


Fig. 303.

Tesla hat nun im besonderen in der Richtung weiter gearbeitet, daß er die Hochfrequenzströme auf eine hohe Spannung brachte. Derartige Ströme werden kurz als Teslaströme bezeichnet. Tesla bediente sich dazu eines Transformators, der ähnlich wie ein Funkeninduktor konstruiert ist, nur keinen Eisenkern enthält. Dieser muß fortbleiben, weil die magnetische Trägheit des Eisens bei den schnellen Schwingungen der Ströme nur hinderlich wirken würde. Da die Primärspule hierbei nur aus einigen Windungen dicken Drahtes besteht, so pflegt bei dem Teslatransformator die sekundäre Spule meistens innen, die primäre dagegen außen zu liegen. Bei kleineren Transformatoren reicht Luftisolation völlig aus und sind insbesondere die Teslatransformatoren von Elster und Geitel, die von vielen elektro-physikalischen Werkstätten hergestellt werden, sehr verbreitet. In Fig. 304 ist ein solcher Apparat, von Kohl in Chemnitz gebaut, dargestellt. Die primäre Spule enthält 4 bis 6 Windungen eines 4 mm dicken Kupferdrahtes der mit Kautschuk isoliert ist; sie befindet sich, von Hartgummifüßen getragen, über dem Grundbrett in halber Höhe der sekundären Spule.

Diese besteht aus ca. 400 Windungen eines 0,3 bis 0,4 mm starken, mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes, der auf ein Glasrohr oder einen gut mit Schellack oder Wachs getränkten Holzcylinder aufgewickelt ist. Die Enden des Cylinders tragen Hartgummikappen, in denen Kugelschraubenklemmen befestigt sind, an welche die Enden des sekundären Drahtes angelötet sind.

Meistens ist noch eine zweite (auswechselbare) Sekundärspule mit 1000 Windungen eines 0,15 mm dicken Kupferdrahtes beigegeben.

Fig. 305 veranschaulicht ein von Ferdinand Ernecke in Berlin hergestelltes Teslainstrumentarium, das einen dem vorigen ganz ähnlich konstruierten Transformator enthält. Der Strom der sekundären Spule eines Funkeninduktors dient zur Ladung der Leydner Flasche, die sich über die Funkenstrecke durch die primäre Spule

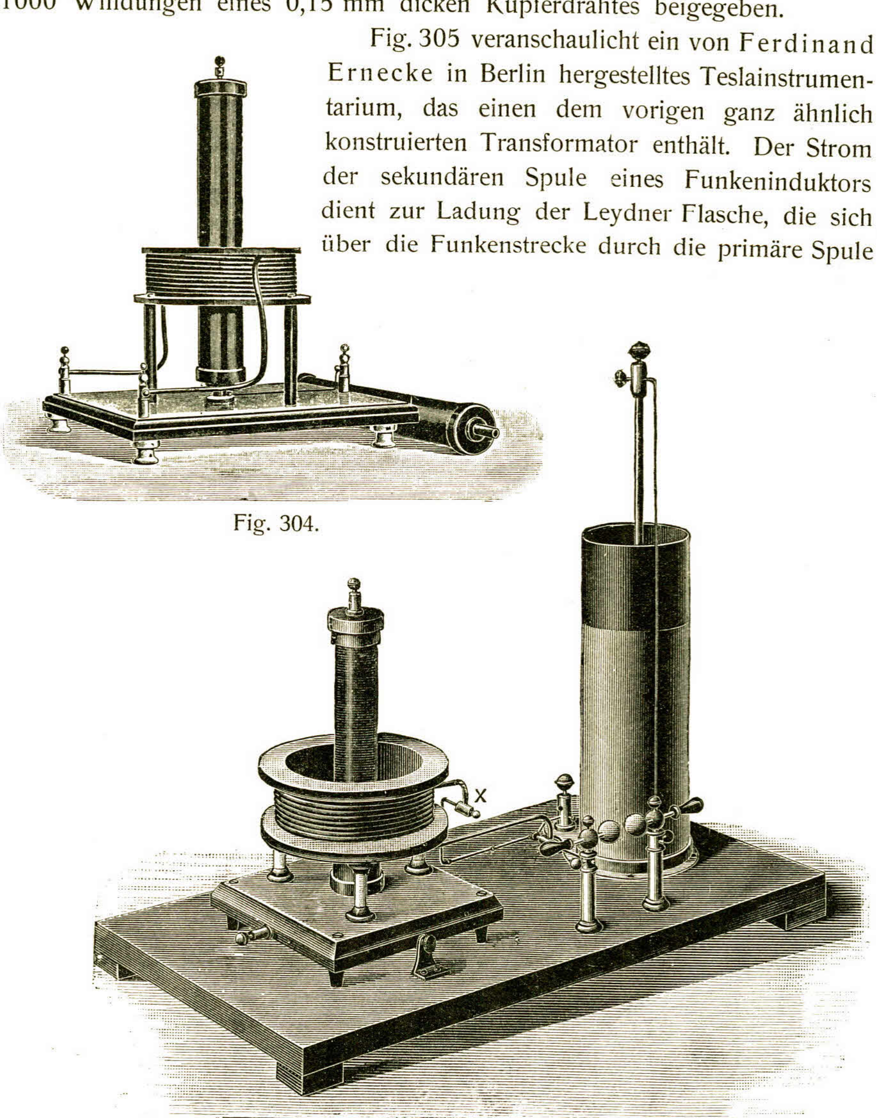


Fig. 304.

Fig. 305.

des Hochspannungs-Transformators hindurch oscillatorisch entladet, und dadurch in der sekundären Spule Teslaströme induziert.

Fig. 306 zeigt eine horizontale Anordnung eines Teslatransformators mit Luftisolation von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen. Zwecks Einregulierung sind die Erregerwindungen verschiebbar angeordnet.

In Fig. 307 ist endlich ein komplettes Instrumentarium derselben Firma für Röntgenstrahlen und Teslaströme, ähnlich wie der in Fig. 212 abgebildete Instrumentarienschrank, dargestellt.

Die rechte Schalttafel ist montiert mit zwei Bleisicherungen, elektromagnetischem Volt- und Ampèremeter, Druckknopf zur Prüfung der Akkumulatorenspannung, Ausschalter für den Induktor, desgl. für den Unterbrechermotor, Momentstromwender, je einen Schieberrheostaten für Induktor und Unterbrechermotor und Beleuchtungslampe. Die linke Schalttafel enthält die Hochfrequenzapparate: einen doppelpoligen Hebelumschalter für Umschaltung von Teslatransformator auf großes Solenoid für Autokonduktion oder sonstigen angeschlossenen Hochfrequenzapparat, Teslatransformator mit Luftisolation, Funkenstrecke in Gehäuse eingeschlossen und zwei Anschlußklemmen für großes Solenoid.

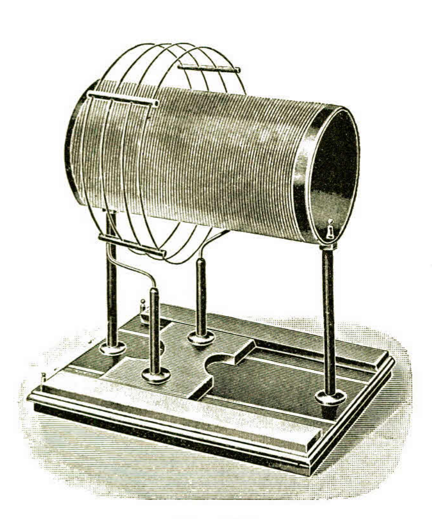


Fig. 306.

Hinter der Schalttafel stehen zwei große Leydner Flaschen.

Der Quecksilberstrahl-Unterbrecher für den Induktor ist hinter der Schaltwand plaziert, sofern er nicht mit Vorrichtung zur Unterdrückung des Schließungsstromes direkt gekuppelt ist.

Bei hohen Spannungen und starker Beanspruchung sind derartige Apparate nicht mehr ausreichend, weil die Luftisolation zwischen der primären und sekundären Spule dann ungenügend ist und Funken den Zwischenraum überbrücken. Auch findet ein starker Energieverlust durch Ausstrahlung statt. Für diese Fälle ist es deshalb nötig, Primärspule und Sekundärspule in ein gutes Isolationsmaterial einzubetten.

Verfasser hat sich auf diese Weise einen Teslatransformator hergestellt, der in Fig. 308 abgebildet ist und sich recht gut bewährt hat.

Auf einen Hartgummistab von 25 mm Durchmesser und 850 mm Länge ist die sekundäre Spule, bestehend aus mehreren Tausend Windungen

eines 0,15 mm dicken Kupferdrahtes, in einer einzigen Lage aufgewickelt, die beiden Enden mit den beiderseitig eingeschraubten Klemmen verbunden. Über diese Spule sind mehrere ineinander passende Hartgummiröhren, die oberen immer etwas kürzer als die darunter liegenden, geschoben. Die

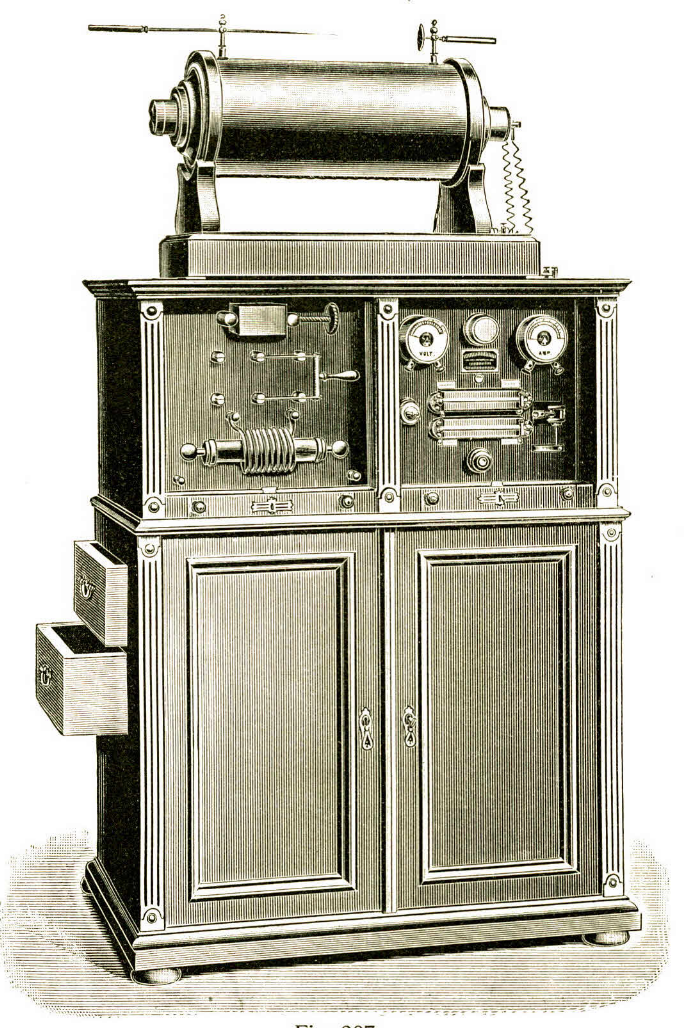


Fig. 307.

äußerste Röhre ist 300 mm lang, bei 70 mm äußerem Durchmesser. Auf diese sind vier Windungen eines 5 mm dicken, blanken Kupferdrahtes gewickelt, deren Enden nach oben gebogen, 100 mm Abstand haben und in Polklemmen endigen. Dieser ganze Apparat ist im Vakuum mit einer Mischung von gleichen Teilen Wachs und Kolophonium umgossen.

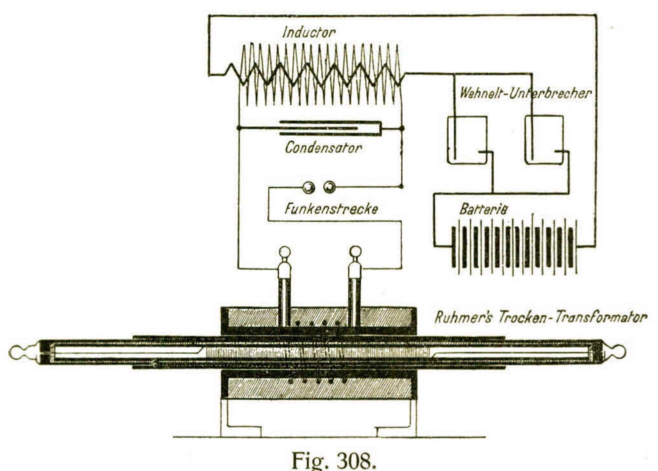


Fig. 308.

Mit einem durch einen Plättchen-Unterbrecher betriebenen Induktor von 30 cm Schlagweite gibt dieser Teslatrockentransformator einen bleistiftdicken Funkenstrom von 700 mm Länge.

Billiger als ein solcher stellen sich die Öltransformatoren, die in den meisten Fällen für hochgespannte Teslaströme angewendet werden. Sie sind ihrer Schwere und des Öls wegen für transportable Zwecke sehr unbequem.

Der Teslatransformator nach Himstedt besteht in der primären Spirale aus 10 bis 20 Windungen eines 4 mm dicken Kupferdrahtes, die im Innern eines Hartgummirohres angebracht sind. Auf das Hartgummirohr sind 200 bis 340 Windungen eines 1 bezw. 0,5 mm starken Kupferdrahtes als sekundäre Spirale gewickelt. Die Enden der Drähte sind nach vier Klemmen geführt, die durch Hartgummisäulen vom Grundbrett getragen werden. Auf diesem Brett befindet sich eine Glaswanne, in welcher der Transformator frei aufliegt und die mit Öl gefüllt wird. Dieses Öl soll vorher längere Zeit gekocht sein, damit es völlig luftfrei sei.

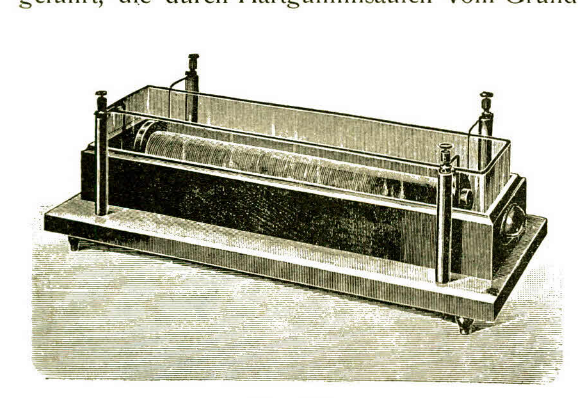


Fig. 309.

Fig. 309 zeigt einen solchen Teslatransformator nach Himstedt, und Fig. 310 ein mit einem derartigen Öltransformator ausgerüstetes Teslainstrumentarium von Max Kohl in Chemnitz.

Infolge der hohen Spannung zeigen die Teslaströme eine starke Tendenz zu Büschelentladungen. Jeder blanke Draht sprüht blaues Licht und Funken aus, besonders an rauhen Oberflächen treten dieselben auffällig in die Erscheinung. Wird ein Metallstreifen auf einer Glastafel befestigt, deren Rückseite mit Stanniol belegt ist, so bildet sich um den Metallstreif eine

prachtvolle Ausstrahlung, sobald er mit dem einen Pol, der Stanniolbelag mit dem andern Pol des Teslatransformators verbunden ist.

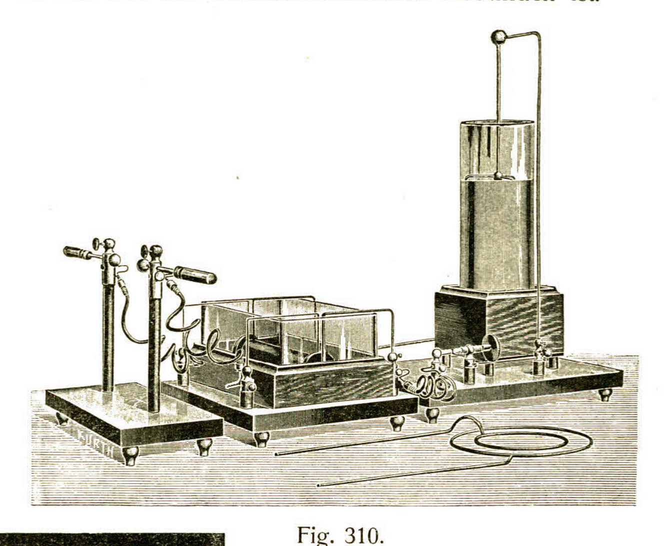


Fig. 310.

Fig. 311.

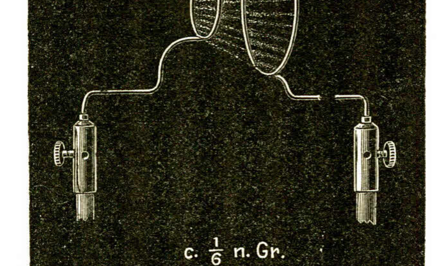
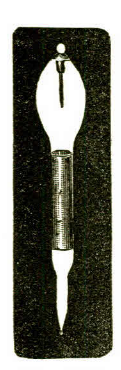


Fig. 312.

Ebenso entsteht zwischen zwei parallel gezogenen blanken Drähten, von denen jeder mit einem Pol verbunden wurde, ein prachtvolles, leuchtendes Band. Eine der Sonnenkorona ähnliche Erscheinung kann man durch einen geschlossenen Metallring, in dem konzentrisch ein etwas kleinerer Drahtring angebracht ist, erzielen (Fig. 311 und 312).

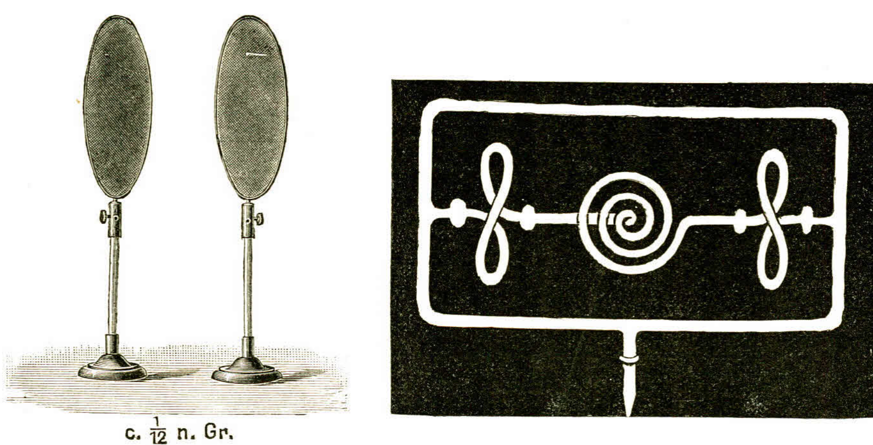
Die hochgespannten Hochfrequenzströme lassen sich demnach zur Lichterzeugung benutzen und bieten außer dem Vorteil, den jeder hochgespannte Strom bietet, nämlich große Energiemengen durch einen dünnen Draht leiten zu können, noch den, daß man den zur Rückleitung dienenden Draht fortlassen kann. Verbindet man z. B. einen Pol des Transformators mit einer Kapazität, z. B. dem menschlichen Körper, unter Zwischenschaltung einer Glühlampe, so leuchtet diese ohne weiteres hell auf, obgleich, wie man sieht, gar kein geschlossener Stromkreis vorhanden ist. Es wird nämlich der menschliche Körper von dem Pol des Teslatransformators aus durch die Leitung und den einen Teil derselben bildenden Glühlampenfaden viele hunderttausendmal in der Sekunde geladen und entladen, und diese Ströme bringen den dünnen Faden zum Glühen. Benutzt man als Kapazität an Stelle des menschlichen Körpers einen metallnen Hohlspiegel, so kann man die Glühlampe in dem Brennpunkt desselben anbringen und erhält alsdann einen elektrischen Scheinwerfer, der an gar keiner geschlossenen Lichtleitung liegt. Es genügt fernerhin, in die Glühlampe nur einen Draht zu führen, und an diesen einen graden, in der Birne endigenden Kohlenfaden anzubringen (vergl. Fig. 313). Wird ein Teil der Glasbirne mit einem Stanniolbelag versehen, so leuchtet die Lampe, wenn man den einen Pol mit dem einen Pol des Teslatransformators verbindet, während der andere zur Erde abgeleitet wird.


Fig. 313.

Alle luftverdünnten Röhren, wie Geißler- und Crookessche Röhren, lassen sich durch die elektrischen Schwingungen zum Leuchten bringen. Bilden eine Anzahl Personen, deren jede eine Geißlersche Röhre in der Hand hält, eine Kette, so leuchten sämtliche Röhren, sobald eine Person einen Pol eines Teslatransformators berührt. Selbst luftleere Röhren, die gar keine eingeschmolzene Elektrode besitzen, zeigen ein milchweißes Licht, wenn sie in der Hand gehalten und mit der andern Hand der eine Pol des Teslatransformators berührt wird, während der andere zur Erde abgeleitet ist.

Am frappantesten ist jedenfalls das Experiment, daß luftverdünnte Röhren ohne Zuleitungselektroden und ohne jede Verbindung mit dem Teslatransformator leuchten. Zu diesem Zwecke verbindet man die beiden Pole des Teslatransformators mit je einer möglichst großen, isoliert aufgestellten Metallplatte (Fig. 314), die sich auf 5 bis 10 m Entfernung gegenüberstehen. Dadurch wird der ganze dazwischen liegende Raum in elektrische Schwingungen versetzt, und alle darin befindlichen luftverdünnten Glasröhren leuchten in einem weißlichen Lichte auf. Personen,

die in diesem, natürlich völlig verfinsterten Raume eine Glühlampe, Geißlerröhre oder ganz ohne Elektroden geblasene Glasröhre (vergl. Fig. 315) in die Hand nehmen, können damit wie mit einer brennenden Laterne



c. $\frac{1}{12}$ n. Gr.

Fig. 314. Fig. 315.

herumgehen. Der Eindruck, den solche Experimente machen, ist unbeschreiblich, jeder, der sie gesehen hat, wird geneigt sein, dies Licht mit Tesla für »das Licht der Zukunft« zu halten.

Fünfzehntes Kapitel.

Resonanz-Phänomene.

Neuerdings hat man gelernt, hohe Spannung der Hochfrequenzströme auf ganz andere Weise und auf neuen Prinzipien beruhend zu erzeugen. Es handelt sich hierbei um die Resonanz von Spulen, die zuerst von Oudin angewandt, neuerdings aber von Seibt und Slaby in ihrer Wirkungsweise durch sehr anschauliche Experimente klargestellt worden ist.

Die Seibtsche Versuchsordnung*) ist in Fig. 316 schematisch angegeben. Danach werden die Hochfrequenzströme in der bereits auf S. 227 angegebenen Weise mittels Induktor *J*, Leydner Flasche oder Kondensator *C*, Funkenstrecke *F* und einer Hochfrequenzspule *S* erzeugt. Letztere ist aber erstens anders geschaltet und zweitens ist ihre Windungszahl variabel. Dieses wenig gedämpfte System von Kapazität und Selbstinduktion (Thomsonscher Schwingungskreis) dient als Energiequelle für die im Punkte *P* angehängte Resonanzspule *R*. Das andere Ende der Spule *S* ist an Erde gelegt.

R
S
P
F
C

Fig. 316.

Wenn man nun bei konstanter Kapazität *C* die Selbstinduktion *S* des Erregerkreises richtig wählt, so gerät die Resonanzspule *R* in heftige elektrische Schwingungen, die sich am oberen Ende der Resonanzspule in kräftigen Ausstrahlungen bemerklich machen. Wie beträchtlich die Potentialunterschiede in einer derartig abgestimmten Spule sind, erkennt man an den Ausstrahlungen der nach einer Photographie hergestellten Abbildung (Fig. 317). Es sind an diese Spule in gewissen Abständen dünne Kupferdrähte mit Wachs direkt auf die besponnenen Drähte der Spule gekittet; während das untere, an den Entladungskreis der Leydner Flasche angeschlossene Ende der Resonanzspule nur spärliche Ausstrahlungen aufweist

*) Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1902, S. 345ff.

zeigen die oben befindlichen Drähte eine immer größer werdende Spannung an und erreicht dieselbe dicht vor dem oberen Ende ihr Maximum. Es ist diese Methode, wie erwähnt, von Oudin benutzt worden, um Hochfrequenz-Ströme hoher Spannung zu erzeugen, und hat Max Kohl in Chemnitz einen Apparat nach diesen Prinzipien konstruiert und in den Handel gebracht, der in Fig. 318 dargestellt ist, während Fig. 319 u. 320

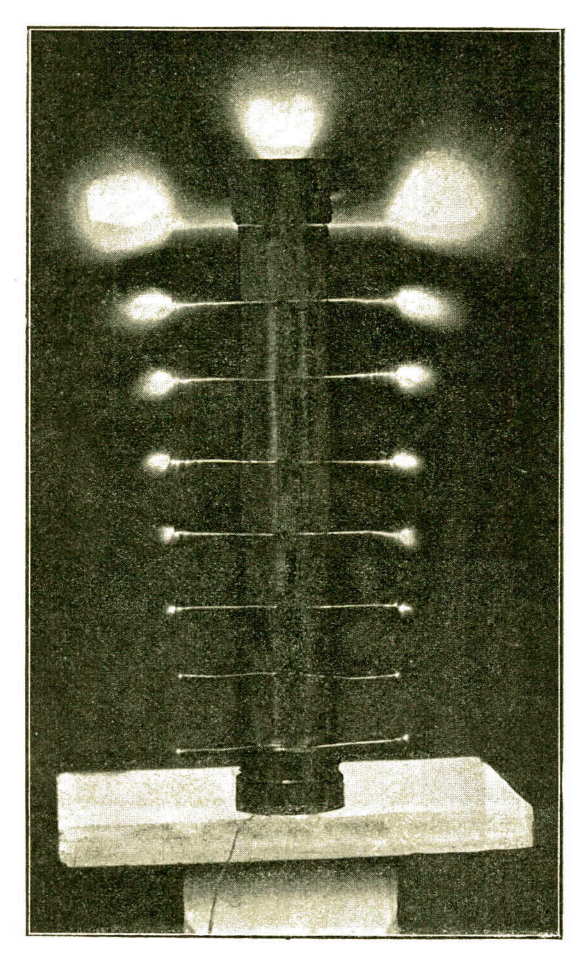


Fig. 317.

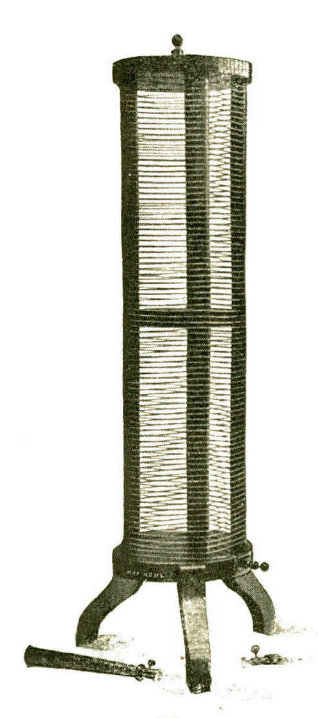


Fig. 318.

komplette Instrumentarien derselben Firma, Fig. 321 ein solches mit Funkeninduktor, Unterbrecher etc. in Schrankform zeigt.

Der Oudinsche Resonator besteht aus einem Solenoid, dessen zahlreiche Windungen auf ein Gestell gewickelt sind. Das eine Ende dieser Spule endet in einer Konduktorkugel, das andere Ende ist an den Schließungsstromkreis der beiden äußeren Belegungen der Leydner Flaschen angeschlossen. Die andere Klemme, welche sich auf einem Hartgummisäulchen befindet und die von

der Konduktorkugel und somit von dem anderen Solenoidende durch eine regulierbare Funkenstrecke getrennt ist, ist dazu bestimmt, den biegsamen Kupferleiter aufzunehmen, an dessen freiem Ende die für die Behandlung

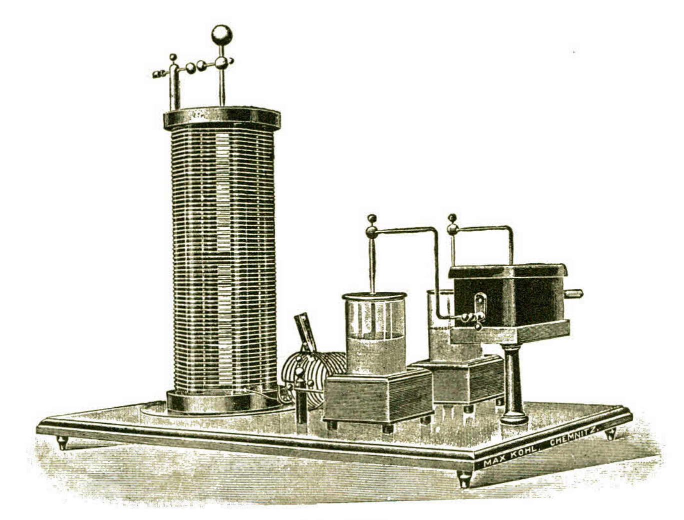


Fig. 319.

des Patienten erforderliche Elektrode angebracht wird. Zur Herstellung der Verbindung zwischen dem Resonator und dem Solenoid dient ein biegsames Kabel, welches mit dem einen Ende an die Klemme des Resonators, mit dem anderen Ende an die verstellbare Klemme mit Hartgummigriff an-

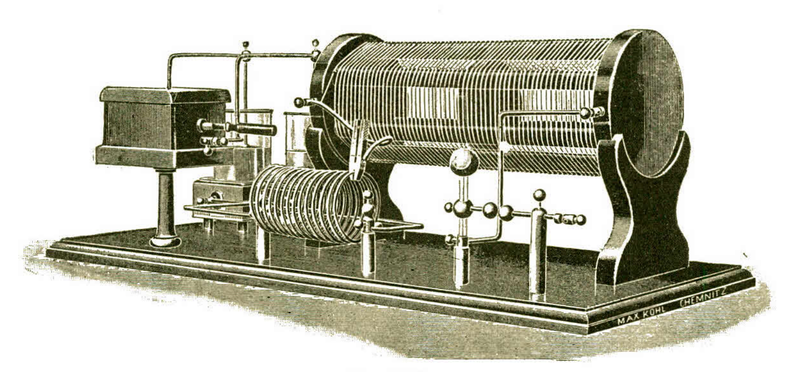


Fig. 320.

geschlossen wird. Je nachdem nun diese Klemme an verschiedene Punkte des Solenoides anschließt, erhält man verschiedene Wirkungen des Resonators. Die maximale Wirkung tritt ein, wenn man den Resonator mit dem einen Ende des Solenoids verbindet, während dessen anderes Ende zur Erde

abgeleitet ist. In diesem Falle sieht man an dem einen Ende des Resonators Ausstrahlungen statischer Elektrizität.

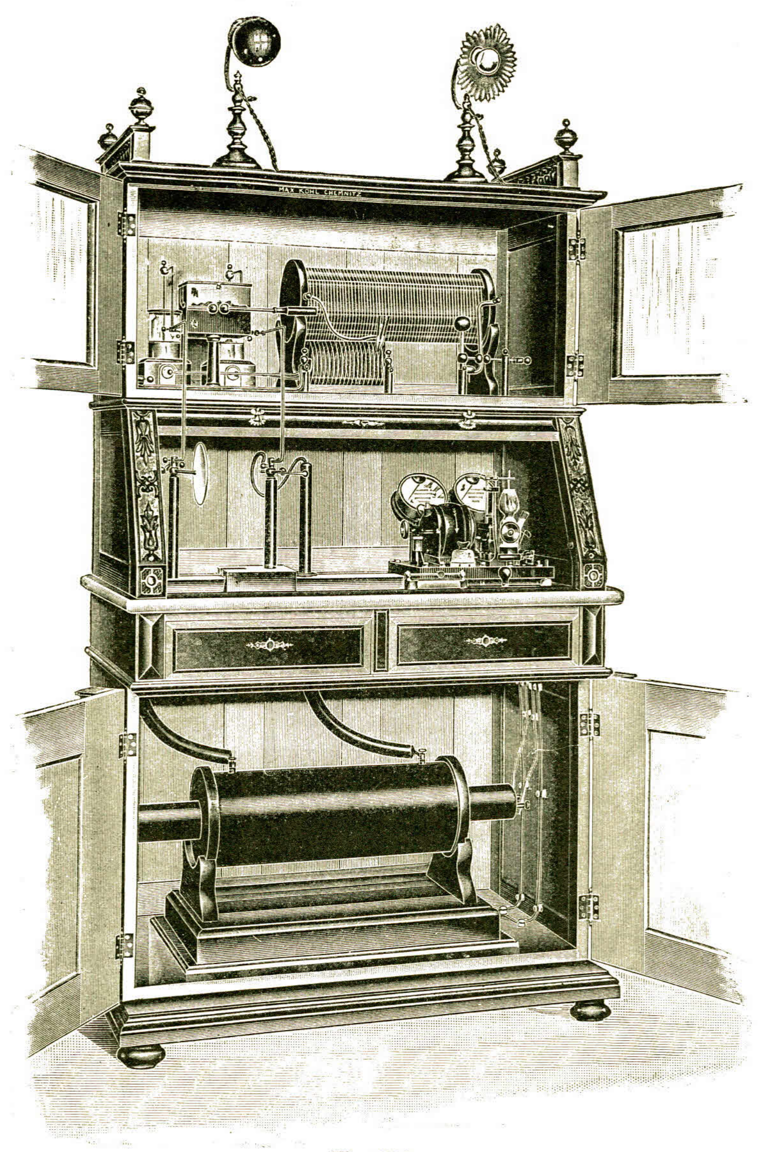
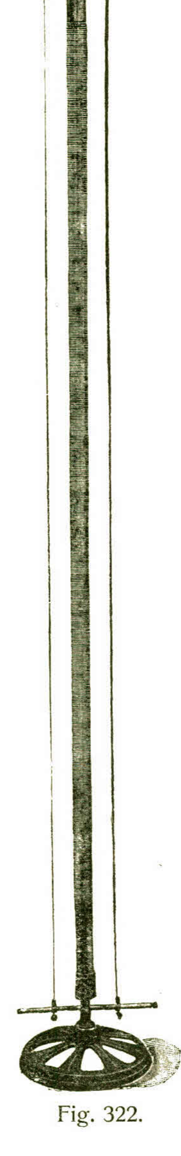


Fig. 321.

Die Funken, die beim Annähern der Hand auf diese überspringen, sind ungefährlich und erzeugen nur ein prickelndes Gefühl, sie haben statische Eigenschaften und Spannungen einer Influenz-Elektrisiermaschine.

Um die Strahlungs-Erscheinungen zur Behandlung von Kranken anzuwenden, verbindet man eine Elektrode mittels biegsamen Kabels mit der auf dem Hartgummisäulchen sitzenden Klemme des Resonators und läßt dann die Strahlungen auf die Hautfläche wirken, indem man die Pinsel oder Spitzenelektrode in einiger Entfernung von derselben hält, die Kondensatorelektroden dagegen in Berührung mit der Haut bringt.


Fig. 322.

Die Regulierung erfolgt durch Veränderung der Anschlußstelle des Resonators am Solenoid mittels der verstellbaren Klemme.

Diese Behandlung findet Anwendung bei Haut- oder Schleimhauterkrankungen. Die Sitzungen werden zwei- bis dreimal wöchentlich in der Dauer von höchstens 10 Minuten vorgenommen.

Wie aus den Untersuchungen von Dr. Seibt hervorgeht, haben die in einer solchen Resonatorspule auftretenden Spannungen der Elektrizität ihre Ursache in der Bildung von stehenden Wellen der an dem erregten Drahtende entstehenden und am freien Ende reflektierten elektrischen Schwingungen. Um diese stehenden Wellen sichtbar zu machen, hat Seibt die Spule in ihrer ganzen Länge mit angeklebten feinen Querdrähten versehen, die durch ihre Ausstrahlungen die Wellenbäuche erkennen lassen.

Die Spule ist 2 m lang und auf ihrer ganzen Fläche mit 0,3 mm dickem, mit Seide besponnenem Kupferdraht bewickelt. Die Querdrähte befinden sich in Abständen von 2 cm.

Durch Verschiebung der Anschlußklemme auf der Selbstinduktionsspule und der dadurch bewirkten Änderung der Eigenschwingung des Erregersystems werden die Schwingungen in der Resonatorspule ebenfalls geändert, und damit ändern sich die Längen der sich bildenden stehenden Wellen.

An den oberen Ausstrahlungen kann man erkennen, daß diese um so stärker werden, je länger die Wellen sind; sie erreicht bei $^1/_4$ Wellenlänge ihr Maximum.

Um also in einer gegebenen Spule möglichst kräftige, durch Resonanz erzeugte Schwingungen zu erhalten, wird man die Selbstinduktion in der

Spule des Erregerkreises so abzustimmen haben, daß die Resonatorspule in $^1/_4$ Wellenlänge schwingt. Um diese Verhältnisse leicht auszuprobieren, bedient man sich folgender Vorrichtung. Das Solenoid ist auf einer gedrehten und mit Schraubengängen versehenen Holzwelle aufgewickelt und durch eine Kurbel drehbar. Das eine Ende ist mit einem Metallring und einer Schleiffeder verbunden, während der Kontakt am andern Ende durch eine sich achsial auf einer Messingstange verschiebenden Mutter hergestellt wird. Zu beiden Seiten der Resonatorspule (vergl. Fig. 322) wird ferner in einem Abstande von 1 bis 2 cm ein dünner Metalldraht parallel zur Achse der Spule gezogen, dessen eines Ende isoliert, dessen anderes Ende geerdet ist. An den Wellenbäuchen springen von der Resonatorspule büschelförmige Entladungen in die Paralleldrähte über und man kann nun durch langsames Drehen der Kurbel an dem verstellbaren Solenoid es schnell dahin bringen, daß die Schwingungen in der Resonatorspule $^1/_4$ Wellenlänge betragen, d. h. die Ausstrahlungen nur an dem einen Ende der Resonatorspule stattfinden und so ihr Maximum erreichen (Schaltung Fig. 323).

Fig. 323.

Diese physikalisch äußerst interessanten Versuche sind auch von großer praktischer Bedeutung. So bietet eine solche abgestimmte Spule ein willkommenes Hilfsmittel bei der abgestimmten Wellentelegraphie, denn man kann bei unveränderter Elektrizitätsquelle auf der Sendestation Wellen unter höherer Spannung aussenden. Noch größeren Wert hat sie für die Empfangsstation, um dieselbe abzustimmen. Denn die Erscheinung erlischt sofort gänzlich, wenn man die Spule mit einer ungeeigneten Schwingungszahl erregt.

In Fig. 324 ist eine derartige Versuchsanordnung dargestellt, die in sehr anschaulicher Weise die Abstimmung durch Veränderung der Selbstinduktion im Erreger-Schwingungskreis erläutert. An Stelle der großen

Seibtschen Resonanzspule sind hier zwei kleinere Resonanzspulen verschiedener Bewickelung an den Thomsonschen Schwingungskreis angeschlossen. Verändert man die Eigenschwingung des Erregerkreises durch Veränderung der Selbstinduktion des Oudinschen Resonators, so werden die kleinen Resonanzspulen abwechselnd aufleuchten und dunkel werden, und zwar so, daß, wenn die eine maximal ausstrahlt, die andere dunkel bleibt.

Die erste Spule ist mit dem Erregerkreis in Resonanz, die zweite ist verstimmt. Ändert man nun die Selbstinduktion im Erregerkreise, so wechseln die beiden Spulen allmählich ihren Schwingungszustand. Diejenige, welche erst dunkel war, leuchtet schließlich auf, während die vorher leuchtende dunkel wird. Wenn die Resonanzspulen in ihrem Maximum schwingen, so sind die Ausstrahlungen außerordentlich lebhaft; große Lichtgarben schießen aus dem oberen Ende hervor, wie man aus Fig. 325 deutlich erkennen kann.

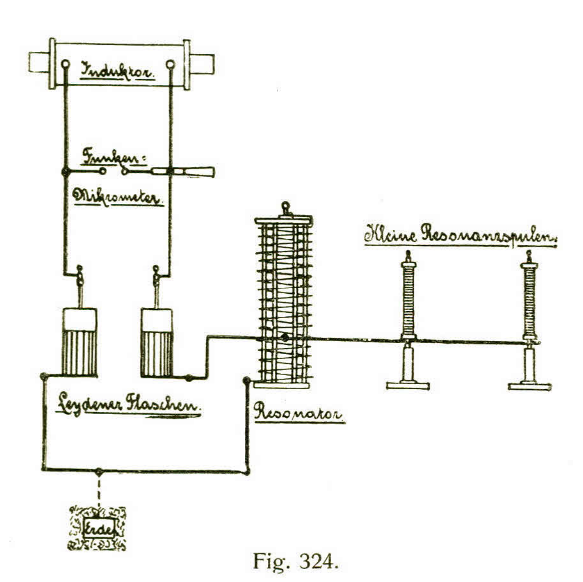


Fig. 324.

Um nun auch die Abstimmung der Empfängerstation bei der Funkentelegraphie zu zeigen, ist eine zweite, mit einer der beim vorhergehenden Versuch benutzten kleinen Resonanzspulen übereinstimmende Spule erforderlich, die an ihrem oberen Ende mit einer kleinen Geißlerschen Röhre versehen ist. Diese Spule stellt man in einiger Entfernung von dem Senderapparate auf. Das untere Ende der Empfängerspule wird, wie es beim Empfangsdrahte geschieht, zur Erde abgeleitet. Wird nun der Apparat in Gang gesetzt und so eingestellt, daß die primäre Spule, die dem Senderdrahte entspricht, im Maximum schwingt, so wird die mit ihr übereinstimmende sekundäre, die dem Empfangsdraht entspricht, mitschwingen und die an ihrer Spitze befindliche Geißlersche Röhre zum Leuchten bringen.

Ersetzt man die sekundäre Spule durch eine andere oder verändert den Schwingungskreis des primären Systems, so wird in diesem Falle die



Fig. 325.

Röhre dunkel bleiben, die Spule ist verstimmt, sie zeigt für die erzeugten Primärschwingungen keine Resonanz.

Die bei der drahtlosen Telegraphie nach den Systemen von Braun und Slaby-Arco angewendeten Gebe- und Empfangsdrähte sind im Grunde genommen also nichts weiter als gradegestreckte Resonanzspulen von $= {}^1/_4$ Wellenlänge, die am Kohärer den Wellenbauch erzeugen.

Die elektrischen Resonanzerscheinungen, deren Wirkungen noch vielfach in nicht gebührender Weise beachtet werden, sind es auch vornehmlich, die der transatlantischen Wellentelegraphie zu einem Erfolge verholfen haben. Vielleicht sind sie auch berufen, die Funkeninduktoren, mit deren gegenwärtiger Gestaltung wir uns in den vorhergehenden Kapiteln beschäftigt haben, zu einer ungeahnten Vollkommenheit zu bringen.

Anhang.

Kurzer Überblick über die Grundzüge der Röntgentechnik des Arztes.

Von

Dr. **Carl Bruno Schürmayer**-Hannover,

Spezialarzt der Elektrotherapie und Röntgentechnik.

Einleitung.

In den vorstehenden Kapiteln haben wir sowohl den Bau, als auch den Betrieb der Röntgenapparate kennen gelernt; es sind die Grundzüge der Röntgenstrahlentechnik als solche uns vorgeführt worden. Wir wenden uns nun zur Betrachtung derjenigen Maßnahmen, wie sie seitens des Arztes speziell zur Dienstbarmachung des Röntgenagens angewendet werden.

In einer Reihe vorzüglicher Übersichtswerke sind die diesbezüglichen Gesichtspunkte niedergelegt, und es kann das Studium dieser Werke, bezw. eines derselben, einem jeden, der sich eingehender mit dem Thema befassen will, nur dringend angeraten werden. Wir nennen folgende Werke als besonders empfehlenswert.*)

1. Gocht, Lehrbuch der Röntgenuntersuchungen, Stuttgart, in erster Auflage schon 1898 erschienen, dann wieder neu verlegt.

   Auf etwas über 200 Seiten in kürzester kompendiöser Form ein vollständig ausreichender Überblick unter Berücksichtigung aller Einzelheiten.

---

*) Sämtliche Werke enthalten eine Anzahl von Abbildungen; auch im Texte, teils von Apparaten, teils von anderen diesbezüglichen Einzelheiten.

2. Büttner und Kurt Müller, Technik und Verwertung der Röntgenstrahlen. Halle a. S., 1. Auflage 1897, in neuer Auflage erschienen.

Ebenfalls ein kurzgehaltenes, übersichtliches Werkchen von ca. 150 Seiten nebst Tafeln.

3. Donath, Die Einrichtungen zur Erzeugung der Röntgenstrahlen. Berlin, 1. Auflage 1899.

Berücksichtigt, wie der Titel sagt, vor allem die Apparate und die Technik als solche. 175 Seiten.

4. L. Freund, Grundriß der gesamten Radiotherapie. Wien und Berlin 1903.

Behandelt auf etwas über 400 Seiten das Gesamtgebiet der als »Strahlungen« bezeichneten Erscheinungen in ihrer Anwendungsweise zu ärztlichen Behandlungszwecken. Wohl das übersichtlichste Werk für den Spezialisten auf diesen Gebieten, warm zu empfehlen der umfassenden Übersicht wegen. Physiologische Einzelheiten sind ebenso berücksichtigt, wie auch die technischen Einzel- und Unterfragen.

5. Dessauer und Wiesner, Leitfaden des Röntgenverfahrens. Mit 69 Abbildungen. Berlin 1903. Medizinischer Teil von Hildebrand, Hoffa, Hoffmann, Holzknecht, Kraft, Metzner, Mohilia und Ströbel.

Ein Werkchen, in welchem sich der »Fabrikant« mit medizinischen Autoritäten zur gemeinsamen Arbeit verbindet. Der medizinische Teil bringt in den einzelnen, je von einem andern Autor bearbeiteten Kapiteln teilweise Ausgezeichnetes; der vom Fabrikanten verfaßte Teil dagegen erreicht das Niveau dieser Leistungen nicht.

6. Albers-Schönberg, Die Röntgentechnik. Hamburg 1903.

Das ebenfalls neue Werk des Herausgebers der »Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen«, das in kürzester Fassung auf ca. 250 Seiten nicht nur die allgemein geltenden Regeln der Röntgentechnik zusammenstellt, sondern zugleich wertvolle Bereicherungen derselben auf Grund eigener Erfahrung und auf Grund der Verwertung selbstkonstruierter, vorzüglicher Hilfsapparate (Kompressionsblende etc.) bringt.

7. Einzelheiten siehe: Albers-Schönberg, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. Hamburg. Jährlich 6 Hefte mit Abbildungen. Band I bis VII erschienen.

Die Röntgentechnik des Arztes.

1. Methoden und deren Bezeichnung.

Der Arzt bedient sich der Röntgentechnik in zweifacher Weise; als:

I. Röntgendiagnose. Zum Zwecke der Stellung oder Vertiefung der Diagnose von krankhaften Zuständen im Körper wählt der Arzt:

a) Die Röntgendurchleuchtung (»Radioskopie«) unter Anwendung des Durchleuchtungsschirmes und seiner Abänderungen (vergl. Seite 179ff.);

b) die Röntgenphotographie (»Radiographie«) unter Anwendung der photographischen Platte (vergl. Seite 196ff.);

c) die Röntgographie, im engsten Sinne des Wortes, unter Aufzeichnung des auf dem Durchleuchtungsschirme sich zeigenden Schattenbildes mittels Pause auf durchsichtiges Papier.

II. Röntgentherapie (»Radiotherapie«). Zu Behandlungszwecken setzt der Arzt seinen Patienten, bezw. die erkrankten Teile des Körpers desselben, dem Einflusse der Röntgenstrahlen aus (Röntgenbestrahlung, oder kurzweg Bestrahlung genannt).

Unter den vielen vorgeschlagenen Bezeichnungen ziehen wir nach dem Vorschlage Gochts vor, immer den Namen des Entdeckers der Strahlen, Röntgen, als Grundlage für jeden Ausdruck zu wählen.

2. Wesen der Röntgenstrahlen.

Wenn wir mit einem Agens arbeiten, dessen Wirkungen studieren und ergründen wollen, so müssen wir erst darüber orientiert sein, um was es sich eigentlich handelt.

»Unter Strahlung pflegt man eine Reihe von physikalischen Vorgängen zusammenzufassen, welche sich nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnis in zwei Gruppen scheiden lassen.

Zur ersten Gruppe zählen wir die elektromagnetische Strahlung (Strahlung der elektrischen Kraft), die Wärmestrahlen, das Licht und die ultraviolette Strahlung. Zu der zweiten Gruppe gehören die Kathodenstrahlen, die Röntgenstrahlen, die von einer gewissen Johanniskäferart ausgehenden Strahlungen, die Becquerelstrahlungen, die Strahlung des Radium und Polonium.« (Freund.)

Nach heute allgemein geltenden Anschauungen sind alle Strahlungen, also auch die »Röntgenstrahlen« genannten Erscheinungen Bewegungsphänomene des Weltäthers, die in regelmäßig wiederkehrenden Schwingungen sich abspielen.

Was diesen »Weltäther« betrifft, so zwingen uns bekanntlich eine Reihe von Beobachtungen, die Existenz desselben anzunehmen. Wir verstehen unter »Äther« jenen feinverteilten, unwägbaren, unmeßbaren Stoff, der sogar die Zwischenräume zwischen den Atomen, aus denen die Körper zusammengesetzt sind, ausfüllt.

Über die feine Verteilung dieses Äthers können wir uns einen Begriff machen, wenn wir folgende Betrachtung anstellen: Nach physikalischen Gesetzen beträgt die Größe eines Gasmoleküls ungefähr den 200000000. Teil eines Millimeters, die Entfernung von Molekül zu Molekül bei gasförmigen Körpern etwa den 100000. Teil eines Millimeters; ja bei festen Körpern müssen wir diese Entfernung als nur 1- bis 200000000000. Teil eines Millimeters beziffern. Wenn also zwischen diesen kleinsten, kaum denkbaren Lücken noch ein Etwas, nämlich der »Äther«, sich befinden kann, so müssen seine Teile allerdings eine kaum denkbare feinste Verteilung haben.

Hier in unseren Betrachtungen interessiert uns der Lichtäther und seine verschiedenen Schwingungen nur in bezug auf die Röntgenstrahlen.

»Vergegenwärtigen wir uns die bisher bekannten verschieden wirkenden Wellenlängen des Äthers, so stehen in der Mitte die von 0,75 bis 0,4 μ (ein »Mikron« gleich 0,001 mm), deren Wirkung auf unser Auge wir als Licht und Farben empfinden, nämlich rot bei der größeren, violett bei der kleineren Länge. Von größerer Wellenlänge bis zu 18 μ sind die unsichtbaren ultravioletten Strahlen, welche mit den sichtbaren Strahlen des Farbenspektrums die Wärmewirkung gemein haben.

Noch größere Wellen, die nach Metern zählen, sind die Hertzschen elektrodynamischen mit Induktionswirkungen. Kleinere Wellen als die des sichtbaren Spektrums bis 0,1 μ haben die durch ihre chemische und fluoreszierende Wirkung bekannten, unsichtbaren, ultravioletten Strahlen. Diese, schon im Sonnenspektrum am meisten abgelenkt, sind die brechbarsten aller Strahlen und haben mit den Röntgenschen Strahlen außer der Fluoreszenz erregenden und chemischen Wirkung die Eigenschaft gemeinsam, daß durch sie oder vielmehr, wie Röntgen nachwies, durch die von ihnen bestrahlte Luft elektrisch geladene Körper entladen werden. Die Bedenken, welche vorlagen, die Röntgenschen Strahlen am ultravioletten Ende des Spektrums einzuordnen, schienen seiner Zeit zerstreut zu sein. Ihr Mangel an Brechbarkeit wird darauf bezogen, daß sehr kleine Wellen ungehindert zwischen den durch Äther getrennten Molekülen der Körper hindurchschlüpfen können, während die größeren anstoßen. Ihre Polarisierbarkeit ist wahrscheinlich gemacht. Interferenzversuche sind gelungen und dadurch die Wellenlänge auf 0,014 m bestimmt.

Übersicht der Ätherschwingungen.

Wärme-Breite

Optische Breite

Hertzsche Wellen	Ultr.-	Ro	t	gelb	grün	blau	indig.	Viol.	Ultr.-Viol.	—	Röntgens X-Strahlen
(mehrere Meter)	18 μ	0,8	0,75					0,38	0,2	0,1	0,014 μ (?)

Chemische Breite

Wahrscheinlich gibt es auch Röntgenstrahlen von verschiedener Wellenlänge und verschiedenen Wirkungen.« (Büttner und Müller 1897.)

Nun kommen bei den Ätherschwingungen aber noch in Betracht die »Schwingungszahlen« der einzelnen Ätherschwingungen in der Sekunde, wobei das Gesetz Geltung hat, daß zwischen Lichtwellen, Wärmewellen und den elektrischen Wellen kein qualitativer, sondern nur ein bloß gradueller Unterschied besteht. Die kürzeste elektromagnetische Welle besitzt 4 mm Schwingungsbreite bei einer Schwingungszahl von 75000 Millionen pro Sekunde. Auf der anderen Seite stehen die längsten Wärmewellen von 6 Hundertstel Millimeter und einer Schwingungszahl von 5000000 in der Sekunde.

Alle diese genannten Ätherschwingungen, auch die »Röntgenstrahlen«, haben nach physikalischen Gesetzen das gemeinsame, daß sie »transversale« Wellen darstellen; d. h. wenn wir uns die Richtung, in der die Wellen sich fortbewegen, als eine gerade Linie denken, so verläuft diese Wellenbewegung so, als ob ein Pendel quer zur Richtung der fortschreitenden Welle hin- und herschwingen würde. Der Verlauf dieser »transversalen Schwingungen« vollzieht sich demnach, wenn wir einen groben Vergleich anstellen, in einer »Schlangenlinie«, wobei die »Breite« die seitlichen Abweichungen der Kurve von der Geraden ausdrückt, die Schwingungszahl aber die Anzahl der einzelnen »Schlängelungen« in der Sekunde bedeutet.

Eine Anzahl von Physikern hat im Gegensatze hierzu die Röntgenstrahlen als »longitudinale«, d. h. Längsschwingungen des Äthers, bezeichnet. Wir gelangen zum Verständnisse der longitudinalen Schwingungen, wenn wir uns dieselben durch aufeinander folgende »Stöße« entstanden denken, die alle in der Fortpflanzungsrichtung erfolgen und sich in der Sekunde so und so oft wiederholen.

Am konsequentesten hat Prof. Zehnder, ein Schüler Röntgens, diese Theorie der longitudinalen Schwingung ausgebaut.

Auf Grund verschiedener Erscheinungen nimmt man an, was auch Zehnder tut, daß die Röntgenstrahlen nichts weiter seien, als veränderte »Kathodenstrahlen«.

So spricht sich Walter, auf dessen weitere Theorien wir noch einzugehen haben, in bezug auf diesen Punkt aus wie folgt: Es sind die Röntgenstrahlen nichts »anderes, als die von der Antikathode (der Röntgenröhren) nach allen Seiten hin auseinander geschleuderten Kathodenstrahlenteilchen, die sich jedoch an ersterer in einem sehr wichtigen Punkte verändert haben, darin nämlich, daß sie daselbst ihre elektrische Ladung abgegeben haben«.

Über die Entstehung der Kathodenstrahlen und der Röntgenstrahlen als solche ist Seite 159 und 160 bereits das Nähere gesagt worden.

Eines nun scheint charakteristisch für die Kathodenstrahlen, daß ihre negative Ladung von ihrer Natur unzertrennlich ist; sie stellen sich demnach selbst als »bewegte, negative Elektrizität« dar.

»Als Träger dieser Ladung können natürlich nicht die gewöhnlichen materiellen Teilchen gelten, sondern man muß kleinere Elementarquanta, sog. »Elektrons«*) annehmen, »Teile des Äthers,« wie Lenard sich ausdrückt, »welche selbständig beweglich sind, welche Masse (Trägheit) besitzen und welche zugleich als Träger elektrischer Ladungen auftreten. Als solche Massen in Bewegung erscheinen die Kathodenstrahlen«.

Auch von Anderen wurden die X-Strahlen als Kathodenstrahlen ohne Ladung aufgefaßt; es hält Michelson dieselben für Kathodenstrahlen, welche im Medium, das sie durchsetzen, gleichsam »gesiebt« worden sind. So soll das leuchtende Agens des Johanniskäfers nach Muraoka sich wie natürliches Licht verhalten; geht es aber durch Karton- und Kupferplatten und ist hier gleichsam »filtriert« worden, dann gewinnt es Eigenschaften, welche an die der Röntgenstrahlen erinnern. So sollen aus Kathodenstrahlen die X-Strahlen hervorgehen, indem sie (oder vielleicht auch Anodenstrahlen) durch Filtration an der Glaswand der Röhre erzeugt werden.

Wiederum wurde geradezu behauptet, daß, je vollständiger dem die Röntgenstrahlen darstellenden Molekularstrom die Ladung entzogen würde, desto größer das Durchdringungsvermögen der entstehenden Röntgenstrahlen sei. »Daher erhält man unter sonst gleichen Umständen das beste Resultat, wenn die Antikathode (der Röntgenröhren) zugleich die Anode bildet, auf welche die negativ geladenen Kathodenstrahlen fallen und somit elektrisch neutral werden. Die Nichtablenkbarkeit durch den Magnet würde in der Abwesenheit einer Ladung ihren Grund finden. Ebenso erklärt sich ihre Fähigkeit, sowohl positiv als negativ elektrisierte Körper zu entladen, durch ihre eigene elektrische Neutralität. Die von verschiedenen Forschern erhaltenen, voneinander abweichenden Resultate würden sich daraus erklären, daß diese nicht reine X-Strahlen, sondern

*) »Elektron« oder »Korpuskel« = $^1/_{1000}$ elektr. Ionen, jedoch mit derselben Ladung versehen. (Thomson.)

untermischt mit positiv oder negativ geladenen Strahlen vor sich hatten. Stokes dagegen, der zwar ebenfalls die Kathodenstrahlen für fortgeschleuderte Teilchen hält, die auch im vollkommensten Vakuum, das wir herzustellen vermögen, bestehen, betrachtet die Röntgenstrahlen als transversale Ätherbewegungen; jedes auftreffende Molekül löse einen Ätherstoß aus. Da die Röntgenstrahlen nicht gebrochen werden, so müssen sie sich in den Zwischenräumen der Moleküle fortpflanzen.« (Kalischer.)

Neuerdings gewinnt die Anschauungsweise Walters zur Erklärung der Natur und des Wesens der Röntgenstrahlen immer mehr an Anklang seitens der Forscher.

Wir erwähnten eben, daß es unumgänglich notwendig ist, zur Erklärung und zum Verständnisse der hierher gehörigen Erscheinungen die Existenz von fortgeschleuderten »materiellen Teilchen« anzunehmen. Sodann wurde hervorgehoben, daß die Röntgenstrahlen »Kathodenstrahlen ohne elektrische Ladung« seien.

An diesen beiden Punkten greift Walter an, um seine Theorie zu entwickeln. Er weist daher ebenfalls darauf hin, daß die in Bewegung versetzten Massen nicht gleichbedeutend mit denjenigen kleinsten Teilchen sein könnten, die wir in der Chemie Atome nennen.

Ferner dürfe die große Geschwindigkeit der Kathodenstrahlenteilchen und jene der Röntgenstrahlen nicht außer Auge gelassen werden, die jene der körperlichen Moleküle um mehr als das 100000fache übertrifft; schließlich müßten wir einsehen lernen, daß die Absorption der X-Strahlen nicht durch die Zusammensetzung der Moleküle, vielmehr durch die der Atome bedingt ist, dann würden wir durch die Annahme einer Passage molekularer Teilchen nicht mehr in Staunen geraten. Letztere fliegen auch tatsächlich allem Anscheine nach nicht allein durch die Zwischenräume zwischen den Molekülen, nein, sogar mitten durch die Moleküle hindurch.

Zum Verständnisse des letztern noch einiges. Nach den Versuchen von Novák und Sulv in Prag, ferner nach denen von Voller und Walter in Hamburg besteht ein einfaches Verhältnis zwischen der Absorption eines Körpers in bezug auf Röntgenstrahlen, wenn man nicht die Dichte (= spez. Gewicht), vielmehr das Atomgewicht zum Ausgange der Untersuchung nimmt.

Dies können wir am besten durch Versuche mittels der einfachst zusammengesetzten Körper, nämlich der Elemente, beweisen.

Es betragen diese Zahlen z. B.:

bei Silber, Dichte (= spez. Gew.) 10,4; Atomg. 108
„ Wismut, „ (= „ „) 9,8; „ 208.

Selbst bei Anwendung gleich dicker Schichten absorbiert Wismut schon besser als Silber; nimmt man erst äquivalente Schichten (Wismutschicht 2,5 mal

so dick als die Silberschicht, dann tritt diese Erscheinung erhöhter Absorption noch augenfälliger zu Tage.

Auch wenn die Atome sich zum Molekül vereinigen, erleidet obengenanntes Gesetz keine Ausnahme, indem die Größe und Art der Zusammensetzung des Moleküls in dieser Beziehung ohne Bedeutung ist.

Kohle, Graphit, Diamant, »allotrope« Modifikationen des Kohlenstoffs, einzig durch Abweichung je im molekulären Aufbau voneinander unterschieden, absorbieren, in äquivalenten Dicken verwendet, gleich.

Auch für Moleküle, welche sich aus verschiedenen Atomen zusammensetzen, bleibt dieses Gesetz bestehen.

Für die Richtigkeit der Theorie Walters sprechen nunmehr noch eine ganze Reihe von beobachteten Erscheinungen und gerade da, wo andere Theorien versagen, läßt uns diese Anschauungsweise eine Erklärung hierfür, eben auf Grund einer anderen Beurteilung des Ganzen, finden.

Vergeblich wurde versucht, eine Beugung, Ablenkung, oder Polarisation an Röntgenstrahlen nachzuweisen. Nach Walter läßt sich diese Möglichkeit von vornherein ausschließen. Denn die X-Strahlen gehen, so weit sie nicht zufällig diffus reflektiert werden, durch die Moleküle der Substanzen hindurch; eine Ablenkung, Brechung etc., wie wir sie bei anderen Experimenten sehen, kann also nicht eintreten.

Was die diffuse Reflexion anbetrifft, so entsteht eine solche tatsächlich und, wie Röntgen selbst nachwies, an den Luftteilchen und nicht allein an den kleinsten Teilchen der festen Körper. Aber diese Reflexion ist eine »diffuse«, indem die auftreffenden X-Strahlen nach allen Seiten gleichsam auseinander spritzen.

Dieselben Erscheinungen sind wiederum bei den Kathodenstrahlen nachgewiesen; denn als Lenard durch sein Aluminiumfenster diese in die Luft austreten ließ, war er erstaunt über die starke, diffuse Reflexion der Kathodenstrahlen durch die Luft.

Das Vorhandensein dieser »diffusen Reflexion« macht sich an unseren Röntgenphotogrammen oft nur zu häufig sichtbar; ich habe es erlebt (ehe Abhilfe geschaffen war), daß in einem kleinen Zimmer häufig die photographische Platte geschwärzt, aber keine Spur des darauf liegenden Thorax zu sehen war. Andererseits kam häufig eine Verzeichnung der einen Brusthälfte vor, weil die Zimmerwand zu nahe gewesen war. Wiederum versagten alle Aufnahmen, als eine Dame, in Röcken bei entblößtem Oberkörper sitzend, die Birne etwas über Kniehöhe, photographiert werden sollte.

Sodann ergibt sich, daß die stets auftretende Fluoreszenz der Röntgenröhre nicht einer Eigenschaft der Röntgenstrahlen, solche zu erzeugen, zuzuschreiben ist; vielmehr geht diese Erscheinung von den Kathoden-

strahlen aus, die von der Antikathode reflektiert werden. Starke zeigte nämlich, daß die direkten, wie die reflektierten Strahlen eine negative Ladung haben; Merrit hob auch dieses hervor, was seitens Walter schon früher geschehen war, und somit wurde bewiesen, daß es sich nur um Kathodenstrahlen handeln könnte. Merrit lieferte nunmehr noch einen weiteren Beweis, indem er die Ablenkbarkeit der Fluoreszenz durch Magnete bewies.

Diese stark phosphoreszierenden Stellen der Glaswand einer Röhre aber senden nach Walter nicht nur Kathodenstrahlen weg, sondern auch Röntgenstrahlen, letztere vorwiegend nach außen. Denn nicht alle negative Elektrizität, die, von der Kathode der Röhre zugeführt, mit den Kathodenstrahlen auf die Antikathode prallt, wird bei der diffusen Zerstreuung der positiven Elektrizität schon dort, im Innern der Röhre, neutralisiert. Dieser Vorgang hingegen spielt sich zum Teil erst auf der Glaswand gänzlich ab. Bei stark entleerten Röhren genügt auch diese Fläche nicht, da Kathodenstrahlen nochmals zurück an die Wand, hinter die Antikathode geworfen werden und diese zum Phosphoreszieren bringen. Ferner aber erzeugen Kathodenstrahlen unter Beeinträchtigung des Schirm- und photographischen Bildes, hier nach mehrfacher Beobachtung an der Hinterwand der Röntgenröhre noch weitere X-Strahlen, wie sie schon an der vorderen Wand der Röhre entstanden. Alles dies aber spricht dafür, daß es Kathodenentladungen sind, aus denen X-Strahlen hervorgehen, deren Eigenschaften im vorigen bereits bewiesen und erwiesen sind.

Auch andere Eigenschaften der Röntgenstrahlen sprechen für die Richtigkeit der Theorie Walters.

Es steht fest, daß die Glaswand einer Röhre nach häufigem Gebrauch »ermüdet« infolge des zu häufigen Bombardements durch Kathodenstrahlen; dasselbe gilt auch für die Verstärkungs- und Durchleuchtungsschirme, die, beim Gebrauch, von X-Strahlen häufig getroffen, ebenfalls schlechter werden, woraus abermals eine nahe Verwandtschaft der beiderseitigen Strahlenarten, Kathoden- und X-Strahlen folgt. Übrigens hebt nachträglicher Einfluß von Licht, sowohl auf den Schirm als auf die photographische Platte, diese Ermüdung wieder.

Bezüglich der photographischen Trockenplatte steht aber nach Villard folgendes fest: Länger dauernde Lichteinwirkung von mäßiger Stärke führt den negativ latenten Eindruck auf der Platte in einen positiv latenten über, so daß nach der Entwicklung ein positives Bild entsteht; andererseits kann die Entwicklung in diesem Falle am Tageslicht vollzogen werden. Auch auf zu reichlich von X-Strahlen getroffenen Partien tritt diese »Solarisation« ein. Letzteres ist nach der »Bombardementtheorie« Walters leicht zu erklären und verständlich. Der Anprall der durch die Moleküle rasenden

materiellen Teile erschüttert zunächst nicht das ganze Molekül, sondern nur die das Molekül zusammensetzenden Atome, und lockert deren Zusammenhang im Molekül. Die Atome können demnach durch weitere Beeinflussung dieser oder anderer Art leicht ganz aus der Gruppe herausgerissen werden.

Durch Perrin, Willari und Winkelmann wurde wahrscheinlich gemacht, daß X-Strahlen auch auf die Moleküle eines Gases einwirken können und eine »Ionisierung« erzeugen. Die Moleküle werden in entgegengesetzt geladene Atome, »Ionen«, gespalten, von denen die gleichnamig elektrischen sich abstoßen, die ungleichnamigen sich anziehen.

Auch hier gilt die oben gegebene Erklärung. Es hat demnach den Anschein, als ob durch Walters Theorie eine einheitliche Auffassung auf dem Gebiete der Kathoden- wie Röntgenstrahlen angebahnt und geschaffen würde. (Schürmayer.)

Nach heute allgemein geltender Ansicht sind also die »X-Strahlen«, wie Röntgen selbst die neue Strahlungsart nannte, nichts anderes, als umgewandelte Kathodenstrahlen.

Als Eigenschaften der Röntgenstrahlen wären folgende zu nennen:

1. Sie durchdringen die Glaswand der Röhren und besitzen keine elektrische Ladung.
2. Sie breiten sich geradlinig aus.
3. Sie rufen außerhalb der Röhre Veränderungen hervor, indem sie elektrische Entladungen vollziehen, chemische Verbindungen lösen, fluoreszenzfähige Körper zum Leuchten bringen etc., auf die photographische Gelatineplatte gleich Lichtwellen einwirken.
4. Sie erzeugen beim Aufprallen auf materielle Körper wieder neue Strahlen, »Sekundärstrahlen«, »S-Strahlen« genannt.
5. Die Wirkung der Röntgenstrahlen nimmt, wie die Lichtwirkung, im quadratischen Verhältnis der Entfernung ab.
6. Die Röntgenstrahlen gehen durch alle, sonst als »undurchsichtig« bezeichneten Körper hindurch, werden aber von denselben wieder in verschiedenem Grade teilweise dennoch zurückgehalten, was man »Absorption« nennt.

   Auf dieser Absorptien beruht die Möglichkeit, überhaupt mittels Röntgenstrahlen verschiedene Substanzen und Körper voneinander zu unterscheiden.

   Denn auf dem Durchleuchtungsschirme sowohl wie auf der photographischen Platte zeigt es sich, daß eine Metallkugel die X-Strahlen stärker »absorbiert«, als beispielsweise ein Knochen; daß der Knochen an Absorptionskraft wieder das Fleisch überbietet.

Auf diesem verschiedenen Absorptionsvermögen beruht die Erscheinung, daß sich eine Metallkugel als tiefschwarzer Fleck im Knochen und von diesem abhebt, daß der Knochen wieder dunkler erscheint, als das Fleisch, dieses dunkler als ein Rockärmel etc.

7. Nach heutigem Stande unseres Wissens mangelt den Röntgenstrahlen die Brechbarkeit, die Reflexion, die Polarisierbarkeit.
8. Unsicher ist es, ob den Röntgenstrahlen eine direkte Wärmewirkung zukommt.

Wo eine solche sich zeigt, beispielsweise darin, daß ein Durchleuchtungsschirm sich bei der Durchleuchtung erwärmt, ist diese Erscheinung anders zu erklären, wie man sich ausdrückt, als »Umsetzung der Energie« (vergl. Seite 276).

3. Der Arbeitsraum des Röntgenspezialisten.

Erste Voraussetzung für eine zweckdienliche, erfolgreiche Arbeit des Arztes mittels Röntgenstrahlen ist der Besitz eines ausgezeichneten Instrumentariums.

Welche Kombinationen von Induktor und Unterbrecher etc. für den Einzelfall die besten sind, das hängt von den Umständen und den zu leistenden Aufgaben ab. Eine Übersicht ist im 11. Kapitel Seite 213 ff. gegeben.

Während man für die Zwecke der Diagnose allgemein möglichst große, d. h. nicht räumlich große, sondern höchst leistungsfähige Apparate wählt, genügen für Behandlungszwecke auch kleinere Apparate bezw. Induktoren; letztere werden von sämtlichen Firmen neben den ersteren heute geführt. Es wird mit diesen Begriffen »große und kleine Apparate« heute ein ungemeiner Mißbrauch getrieben, nicht im Interesse des Käufers von Einrichtungen!

Der Grundgedanke bei der Beurteilung einer Röntgeneinrichtung muß stets der sein: für Behandlungszwecke kommen wir vielleicht mit kleineren Röntgenröhren aus; für die Zwecke der Diagnose aber brauchen wir heute in allen schwierigen Fällen große, d. h. höchst leistungsfähige Röntgenröhren; kleinen Röhren entsprechen im allgemeinen kleine Induktoren, um große Röhren betreiben zu können, benötigen wir nur großer Induktoren!

Was nun den Arbeitsraum an sich betrifft, so muß derselbe möglichst groß sein! Dagegen wird allerorts gesündigt, oft allerdings wieder unter dem Drucke der äußeren Verhältnisse, weil eben ein anderer Raum nicht zu haben ist, und so sieht man oft im »Sprechzimmer« die schönsten Apparate und Nebenapparate auf einen kleinen Raum zusammengedrängt. Wer die Wahl hat, wird daher niemals sich einengen: Leiden wir auch

heute, dank der Verwendung von Hilfsapparaten, nicht mehr so sehr unter der »diffusen Reflexion der Röntgenstrahlen« von seiten der Wände und Decken, so wird doch die Arbeit an sich erleichtert, wenn sämtliche Hilfsmittel zum Gebrauche fertig und leicht zugänglich bereit stehen. Betreffend die Aufstellung der Apparate, erhellt dieselbe aus den Abbildungen in Kapitel 8, Seite 149 ff. bezw. Kapitel 11, Seite 214 ff.

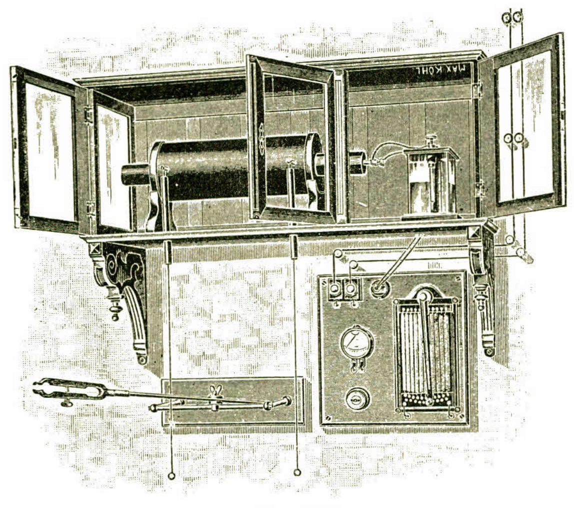


Fig. 326.

Nur zu häufig aber zwingen die äußeren Umstände, den Induktor an der Wand anzubringen (vergl. Fig. 279 Seite 214, Fig. 281 Seite 216 und Fig. 285 Seite 220, auch Fig. 326).

Sobald man hierbei, oder überhaupt auf eine Freibeweglichkeit des Induktors verzichtet, sollte man denselben stets durch einen Glaskasten vor Staub schützen, wie Fig. 326 ebenfalls zeigt. Dies dann um so mehr, wenn die gewählte Höhe ein leichtes Abstauben unmöglich macht.

Auch die Unterbrecher muß man, je nach ihrem Standorte, mit einem Schutzkasten von entsprechender Konstruktion umgeben. Modelle dieser Art sind in Fig. 210 S. 151, Fig. 211 Seite 152 und Fig. 212 Seite 153 abgebildet und deutlich ersichtlich.

Gutschließende Verdunklungsvorrichtungen des Zimmers nicht zu vergessen!

4. Montage der Röntgenapparate.

Im allgemeinen werden die Röntgeneinrichtungen in montagefertigem Zustande seitens des Fabrikanten verschickt; man braucht dann eventuell nur den Induktor aufzustellen, bezw. ihn und das Schaltbrett an der Wand zu befestigen und die Leitungsdrähte nach Vorschrift zu verbinden (vergl. die Abbildungen des Kapitel 11, Seite 213 bis 220 und Fig. 329).

Nachdem die meisten öffentlichen und privaten Elektrizitätswerke, an deren Leitung wir, wenn immer möglich, anschließen werden, eine Reihe von Bestimmungen für allgemeine Montage erlassen haben, kommen wir sehr leicht mit diesen Bestimmungen in Konflikt.

Man mache also bei Bestellungen den betreffenden Fabrikanten auf die am betreffenden Orte geltenden Bestimmungen aufmerksam; es wird dann Sache einer solchen Firma sein, mit den nötigen Maßregeln den Käufer und damit sich selbst vor Unwissenheit und geistloser Paragraphenwirtschaft zu schützen, event. energisch gegenüber einem ungerechtfertigten Ansinnen einzutreten.

I. Die Röntgendiagnostik.

Nach dem in den früheren Kapiteln Gebotenen ist die Fülle der Hilfsmittel, die der Röntgendiagnostik dienen, eine große; Sache weitgehenderer Erfahrung wird es daher sein, diejenigen Nebenapparate auszusuchen, die uns dienlich sind, ohne uns zu sehr zu belasten.

Wer ein ausgerüstetes Laboratorium zur Verfügung haben kann, der wird mit Erfolg von allen Einzelheiten desselben Gebrauch machen; wer sich aber mit dem Nötigsten begnügen muß, wird eben mit diesem Nötigsten auch arbeiten und auskommen müssen. Immer aber bleibt derjenige der größte Meister, der mit wenigem Brauchbaren das Beste leistet.

5. Methode und Hilfsmittel der Röntgendurchleuchtung.

Wie die Abbildungen u. a. des 11. Kapitels zeigen, ist nach Einspannung einer Röhre und richtiger Fixierung derselben im Stativ oder Röhrenträger (vergl. Fig. 327), nach Verbindung ihrer Pole mittels Kabel mit den Klemmen der sekundären Spirale einer richtig montierten Einrichtung das Ganze zur Arbeit gebrauchsfähig (vergl. Fig. 221 Seite 162 und Fig. 329).

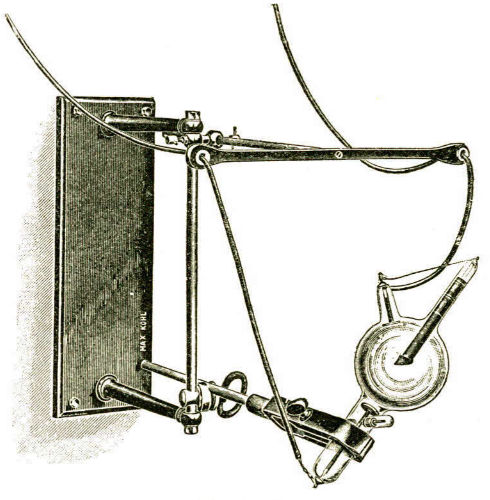


Fig. 327.

Wir brauchen dann nur den zu untersuchenden Gegenstand entsprechend vor der Röhre zu plazieren, bezw. die Röhre entsprechend hoch zu stellen, unseren Durchleuchtungsschirm in die Hand zu nehmen, den primären Strom zu schließen, dann kann nach der nötigen Orientierung über die Leistung der Röhre die Arbeit beginnen.

Doch die Technik der medizinischen Röntgenuntersuchung verlangt noch andere Bedingungen. Diese sind:

1. Zunächst müssen wir eine für unsere Zwecke geeignete Röhre ausgesucht, bezw. deren Charakter festgestellt und kontrolliert haben.

Nicht eine jede Röhre sendet Strahlen derselben Art aus, nicht jede Röntgenröhre gibt dieselbe Menge von brauchbaren Strahlen. Erste Vorbedingung ist, wie Seite 165 betont wurde, die Röhre in denjenigen Leistungszustand zu versetzen, der für den Einzelfall der zweckdienlichste ist. Dies erreichen wir durch Ausprobieren einer Reihe von Röhren oder mittels der künstlichen »Abstimmung« einer »regulierbaren Röhre«. Die Maßnahmen hierzu sind dieselben, wie die bei der Seite 166 erwähnten Regenerierung gebräuchlichen; sie werden je nach der Konstruktion der Röhre (vergl. Kapitel 10, Seite 165 bis 172) auf verschiedene Weise vollzogen.

Während man bei Photographien für die einzelnen Organe bezw. Körperteile nach allgemein gültigen Regeln mittels Nebenapparaten den zweckdienlichen »Härtegrad einer Röhre« erst bestimmen muß, ist man bei der Röntgendurchleuchtung in der angenehmen Lage, auf einfachere Art sich orientieren zu können.

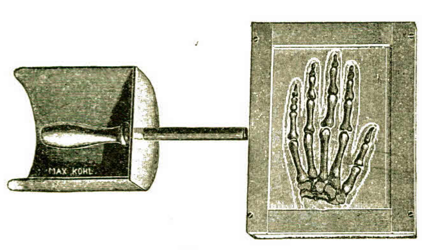


Fig. 328.

Bisher war es allgemein Regel, zum Zwecke der Kontrolle des »relativen Härtegrades einer Röntgenröhre« auf dem Durchleuchtungsschirme erst die eigene Hand zu durchleuchten, und aus dem Kontraste im allgemeinen, dem Verhalten des Fleisches zum Knochen, dem Grade der Sichtbarkeit der kleinen Mittelhandknochen etc. sich ein Urteil über die Röhre zu verschaffen (vergl. Kapitel 10, Seite 198).

So einfach dieses Verfahren ist, so bringt es für den Röntgenpraktiker, wie erwähnt, mit der Zeit doch die große Gefahr, daß sich auf der stets wieder getroffenen Haut der Hand jene chronische Entzündung entwickelt, die »Röntgendermatitis« genannt wird.

Man hat daher unter Ausgang vom Handschatten zur Prüfung der Leuchtkraft der Röhren einen Apparat »Chiroskop« konstruiert; derselbe enthält auf einem Durchleuchtungsschirme, in einem Kasten hinter demselben angebracht, ein präpariertes Handskelett (vergl. Fig. 328).

Ein Stiel mit Handgriff, welch letzterer wieder durch eine Bleikappe gegen direktes Röntgenlicht geschützt ist, dient zum Halten des Apparates. Eine entsprechend untergelegte und geformte Zinnfolie markiert die Weichteile.

Härteskalen anzuwenden wird der Geübte wohl nicht in die Lage kommen, einmal, weil diese Prüfungsart mittels Chiroskop wohl genügen wird, und dann, weil man im allgemeinen am zu untersuchenden Objekte mit Leichtigkeit sich direkt überzeugen kann, ob der Härtegrad der Röhre stimmt.

Manche Röntgenspezialisten ziehen es vor, durch den Rockärmel hindurch das Armgelenk zur Probe zu durchleuchten und hieraus Schlüsse zu ziehen; es wird dann angenommen, daß der Ärmel und das Hemd einen genügenden Schutz gegenüber den X-Strahlen gewähren, so daß keine Entzündung eintritt.

Was nun den für Einzelzwecke richtigen Härtegrad und die Durchdringungskraft der Röntgenröhren betrifft, so hält man sich bei Durchleuchtungen nur an ungefähre Regeln.

Man wird eine Hand im allgemeinen mit einer weichen Röhre durchleuchten, eine Frauenhand mit einer weicheren, als eine derbe Arbeiterfaust, eine Kinderhand mit einer noch weicheren Röhre. Armgelenk, Mittelhandknochen, Vorderarm, Unterschenkel verlangen schon einen etwas geringeren Grad der Weichheit, Oberschenkel, Brust, Schultergelenk einen gewissen Härtegrad etc. Immer aber kommt es darauf an, ob man einen fetten oder einen schlanken Patienten vor sich hat, ein Kind oder einen Erwachsenen.

2. Es darf nicht übersehen werden, ob die Unterbrechungszahl, die Stromstärke etc. richtig gewählt ist. Das Bild hat dann mehr »Kraft«, wenn die Unterbrechungen sich rasch folgen; daher beispielsweise die Überlegenheit der Flüssigkeits-Unterbrecher.

Bei Apparaten mit abstimmbarer Selbstinduktion (vergl. Fig. 195 Seite 141 und Fig. 284 Seite 219) ist es nötig, die für die Leistung der betreffenden Röhre zweckdienliche »Schaltung« der Wickelungen der Primärspirale zu wählen.

Man steckt hierzu bei den Kohlschen Apparaten dieser Konstruktion den entsprechenden »Stöpsel« in die Löcher am Kopfe der Primärspule (vergl. Fig. 136 u. 137 Seite 100 und Fig. 329), bei den Voltohmapparaten schiebt man die entsprechende Zunge ein (vergl. Fig. 135 Seite 100), bei den Tischen nach Albers-Schönberg bezw. Walter stellt man die betreffende Umschaltung ein (vergl. Fig. 195 Seite 141). In allen Fällen zeigen entsprechende Bezeichnungen: »sehr weiche Röhre«, »weiche Röhre«, »mittelweiche Röhre«, »harte Röhre« das Nähere an. Jetzt erst arbeitet der Induktor im vorliegenden Falle unter den günstigsten Bedingungen; daher wird die Röhre am besten angesprochen.

Allerdings ist bei den Apparaten mit veränderlicher Selbstinduktion nach Wehnelt nunmehr zugleich die richtige Länge des Unterbrecherstiftes

auszuprobieren (vergl. Seite 98 ff.); falls der Unterbrecher deren mehrere besitzt, geschieht dies einfach durch Einschaltung der Leitung mittels des betreffenden Schalters, wie solches aus der Fig. 193 Seite 139 ersichtlich ist. Vergl. die angeschriebenen Bezeichnungen: 2 mm, 3 mm, 4 mm (»Stiftlänge«).

Je länger der Unterbrecherstift genommen wird, um so mehr steigt die Stromstärke, während die Spannung und Zahl der Unterbrechungen abnimmt, natürlich unter denselben äußeren Bedingungen. Der kürzeste Stift, 2 mm, dagegen liefert die höchste Spannung bei höchster Unterbrechungszahl, aber kleinster Stromstärke. Die Stromstärke an sich kann nun noch variiert werden, indem man den Hebel in Fig. 193 Seite 139 entsprechend stellt, bezw. probeweise hin- und hergleiten läßt.

Bei Apparaten mit Motor-Unterbrecher stellt man am Motorrheostat (vergl. Fig. 209 Seite 150) zunächst die erfahrungsgemäß richtige Unterbrechungszahl ein, dann den Primärstrom mittels des zweiten Rheostates (Fig. 209 Mitte) und variiert so lange, bis man das beste Bild erhält.

Die meisten Röhren flackern bis zu einer Unterbrechungszahl von ca. 1500 pro Minute; in der Abbildung Fig. 209 ist seitlich neben dem mittleren Rheostate, d. h. an der linken Seite des Unterbrechers angebracht, ein kleines Instrument sichtbar, mittels dessen man sich über die Anzahl der Unterbrechungen orientieren kann, da der Zeiger dieses »Tachometers« jederzeit die Unterbrechungszahl angibt (vgl. auch Fig. 102 Seite 79).

Was die primäre Stromstärke anlangt, so beginnt man mit derjenigen niedrigsten, bei der die Röhre noch ein gutes Bild liefert; das Galvanometer (»Ampèremeter«) zeigt mittels Nadel diese Stromstärke an (vergl. die Abbildungen in Kapitel 7, Seite 130, 134 bis 141).

Bei diesem Arbeiten im dunkeln Raume ist es nötig, von »Hell« zu »Dunkel« übergehen zu können; man bewerkstelligt dieses am einfachsten dadurch, daß man eine elektrische Lampe über dem »Schaltbrett« anbringt, die man aus- und einschaltet (vergl. Fig. 194 Seite 140).

Albers-Schönberg hat eine Einrichtung ersonnen, durch welche an Stelle des »Dunkel« eine Dämpfung des Lichtes tritt, die mittels grüner Glasglocke so auf den Tisch lokalisiert bleibt, daß man zwar jeden einzelnen Kontakt unterscheiden kann, aber sonst im Raume völliges Dunkel hat (vergl. Fig. 195 Seite 141).

Bei Feder-Unterbrechern kann durch Justierung der Einzelschrauben ebenfalls eine beste Leistung für jede Röntgenröhre herausgefunden werden (vergl. Seite 69).

3. Der zu untersuchende Patient ist in die richtige Lage zu bringen, das diffuse Licht der Röhre durch Wahl einer passenden Blende abzublenden.

Was die Stellung bezw. Lage des zu Untersuchenden betrifft, so hängt dieselbe davon ab, welches Objekt man durchleuchten will.

Brust, Schulter etc. wird man sehr wohl im Stehen des Patienten untersuchen können; anders schon ist es, wenn man Hand, Arm, Schenkel, Bein oder Fuß durchleuchtet. Dann wird man bei entsprechender Röhrenstellung mit Vorteil den Patienten auf einem Tische (vergl. Fig. 272 Seite 203 und Fig. 329) so lagern, daß das betreffende Glied ruhig liegt oder entsprechend bewegt und gedreht werden kann. Messungen vor dem

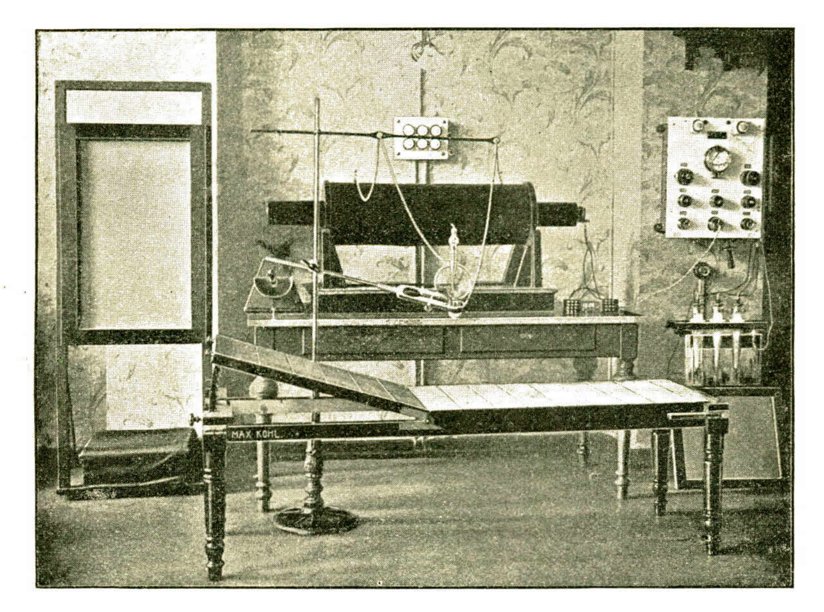


Fig. 329.

Hoffmannschen Stative oder Zeichnen mit einem der Seite 189 bis 191 und Seite 194 beschriebenen Orthodiagraphen verlangt wiederum Stehen, während horizontale Apparate eine liegende Position voraussetzen. Wiederum ist man beim Gebrauch ein und desselben Apparates in der Lage, sowohl im Liegen als im Stehen untersuchen zu können (vergl. Fig. 255 u. 256 Seite 189, sowie Fig. 258 u. 259 Seite 191 u. 192).

Will man ein gutes Durchleuchtungsbild bekommen, so ist es hier, gerade so wie bei der Photographie, unumgänglich notwendig, zwischen Röhre und Patient eine entsprechende Blende einzuschalten, d. h. eine Bleifolie mit möglichst kleiner Öffnung, welch letztere eben noch genügend Strahlen durchläßt, um das Gesamtfeld überblicken zu können.

Im allgemeinen durchleuchtet man zunächst übersichtlich mittels größerer Blende, dann betrachtet man die bemerkenswerten Stellen für sich mittels kleinster Blendenöffnung.

Die Anwendung von Blenden macht den Besitz eines Röhrenträgers zur Vorbedingung, der zugleich auch die Blenden aufnimmt.

Um dies zu erreichen, aber zugleich sich und den Patienten vor überflüssigem Röntgenlichte zu schützen, gibt man diesen Röhrenträgern neuerdings eine Gestellform (Tafel I). An dieses Gestell läßt sich sehr leicht eine Vorrichtung für Orthodiagraphie, gleich den früher beschriebenen, anbringen, womit also ein »Universalstativ« nach meinen Angaben vorliegt. Was die Blenden selbst betrifft, so ergibt sich des Nähere aus einfachen Überlegungen; entweder wir haben in der schützenden Bleifolie eine größere Öffnung und hängen mittels kleiner Häkchen Ausschnitte ein, gleich den Ringen im Feuerherde, oder wir konstruieren uns nach dem Muster der Mikroskopblenden eine drehbare Scheibe mit verschiedenen Löchern bezw. Ausschnitten von wechselnder Größe, die der Reihe nach in den Ausschnitt treten, oder wiederum wählen wir eine »Irisblende«, wie sie an Mikroskopen ebenfalls gangbar ist.

Alles dies sind keine neuen Gesichtspunkte, vielmehr handelt es sich einfach um Übertragung von Bekanntem auf unser Gebiet. Die vielen vermeintlichen »Entdeckungen« reduzieren sich daher für den Kundigen auf ein sehr bescheidenes Maß.

Neu dagegen und sehr ingeniös sind die Modelle von Albers-Schönberg, der mittels vier Scheiben, die sich je zu zwei gegenüberstehen, wobei das eine Paar vertikal, das andere horizontal läuft, jede Form der viereckigen Blende, sei es Hochspalt oder Querspalt, sei es Quadrat oder Rechteck, mittels Zug an zwei Griffen herstellt.

Auf die Bedeutung der übrigen Blenden haben wir unter »Röntgenphotographie« einzugehen.

Die dort zu nennenden »Rohrblenden« habe ich für die Durchleuchtung ebenfalls dienstbar gemacht, indem ein auswechselbarer Rahmen in den Gleitrahmen meines Universalstativs eingesetzt wird. Aus der Ebene der eingelassenen Bleifolie entspringt, entsprechend gestützt, ein Bleirohr, dessen der Röntgenröhre zugewendete Öffnung mittels einer Schieberblende variiert werden kann.

Der Patient preßt sich fest gegen das andere Ende, während die Untersuchung in der Verlängerung der Rohrachse auf der andern Seite des Körpers bezw. des Organs vorgenommen wird.

Man ist erstaunt, was bei einer solchen Durchleuchtung an kleinen Einzelheiten und Strukturverhältnissen gesehen werden kann.

»Schirmblende« nennt sich eine andere Form eines Durchleuchtungsgestelles, das sich darin vom Universalgestelle mit verschiebbarem, die Röhre tragendem Gleitrahmen unterscheidet, daß man eine ganze Wand vor sich hat, welche in verschiedener Höhe verschiedene Löcher mit Blenden trägt. Diese ebenfalls von Albers-Schönberg angegebene Vorrichtung dient in hervorragender Weise zugleich als Schutzvorrichtung, wie ebenso den Durchleuchtungen, mitunter auch photographischen Zwecken.

Ganz Vorzügliches leistet für Durchleuchtungszwecke die Albers-Schönbergsche »Bleikistenblende«. Auf einem stabilen, soliden Gestelle befindet sich, in der Höhe verschiebbar und um die Höhenachse drehbar, ein viereckiger Bleikasten. In dessen Innern wird die Röhre entsprechend angebracht, daß sie der, die Blenden tragenden Wand genähert ist. Die Stellung der Röhre kann von außen variiert werden; die Zuleitungen gehen durch zweckmäßige Isolationen in das Innere. Seitlich befindet sich ein kleines Fenster aus Bleiglas, das wohl die Beobachtung der Röhre, nicht aber den Durchtritt von Röntgenstrahlen erlaubt. Vor der Blendenöffnung, die als Schieberblende konstruiert und variierbar ist, befindet sich ein schwarzer, dünner Stoff, so daß überhaupt kein Licht als solches, d. h. keine Fluoreszenz sich bemerkbar macht.

Im dunkeln Zimmer ist auch bei arbeitender Röhre alles völlig dunkel, nur an der Stelle der Blende des Kastens macht sich auf dem vorgehaltenen Durchleuchtungsschirme das Röntgenagens bemerkbar.

Auf diese Weise untersucht man, ohne durch Fluoreszenz gestört zu sein, wodurch die Durchleuchtungsbilder an Kontrast gewinnen; die Blendeneinrichtung gestattet die Abstufung der Ausdehnung des Strahlungskegels; schließlich ist Arzt und Patient gegenüber dem Röntgenagens möglichst geschützt. Ableitung der Wände nach dem Erdboden (»Erdung«) verhindert Ansammlung von statischer Ladung und Überspringen von Funken auf den Patienten. Andererseits genügt die Wegschiebung einer kleinen Klappe, um durch ein Bleiglasfenster hindurch, wiederum geschützt vor X-Strahlenwirkung, die Kontrolle der Röhren vornehmen zu können.

Es leuchtet nach dem Gesagten ein, daß wir in dieser Vorrichtung denjenigen Apparat besitzen, der allen Forderungen Rechnung trägt, aber selbst wieder das möglichst Beste leistet.

Über meine »aufrechtstehende Bleikiste« siehe unter Röntgenphotographie.

4. Nachdem wir auf diese Weise uns und den Patienten geschützt haben, kommen noch weitere Schutzmaßregeln in unserem eigenen Interesse in Anwendung.

Schon ehe wir die Durchleuchtung begannen, überkleideten wir unsere Hände mit Wildlederhandschuhen. Eine weitere Schutzmaßregel ist ein-

für allemal an unserem Durchleuchtungsschirme angebracht, bezw. mit demselben verbunden.

Da durch stark bleihaltiges Glas die X-Strahlen nicht durchdringen können, aber das auf dem Schirme sichtbare Schattenbild so ziemlich unverändert dieses Glas durchdringt, so haben wir den Durchleuchtungsschirm auf der uns zugekehrten, fluoreszierenden Seite mit einem Bleiglase bedeckt.

So können die Röntgenstrahlen als solche nicht in unser Auge, vor allem nicht ins Gehirn eindringen. Diese Maßregel ist deswegen sehr am Platze, weil man bei fortgesetztem täglichen Arbeiten am und mit dem Apparate leicht zu »Kopfneuralgien« neigt, oder eine ganz auffällige Müdigkeit und Schlafsucht an sich beobachten kann. Natürlich sind die verschiedenen Menschen in ganz verschiedenem Grade hierfür sowohl, als gegenüber den übrigen Wirkungen der X-Strahlen empfänglich.

Falls wir den Bleiglasschutz auf dem Fluoreszenzschirme nicht wählen, oder auch neben einem solchen, tun wir gut, unsere Augen mit einer großen Muschelbrille von Bleiglas zu schützen (Tafel I rechts vorne).

So entgehen wir einmal durch den Schutz der Hände, andererseits durch den Schutz der Centralorgane den unangenehmen Einwirkungen der Röntgenstrahlen, die sich sonst mit absoluter Sicherheit bei uns einstellen.

6. Die Durchleuchtungstechnik im Einzelfalle

ergibt sich eigentlich von selbst. Wir bemühen uns zunächst in derjenigen Stellung die Objekte oder deren Organe zu durchleuchten, die uns das Sehenswerte am besten erkennen und definieren läßt.

Dabei lassen wir den Patienten sich drehen und wenden, um durch die Betrachtung von allen Seiten uns besser zu orientieren.

Handelt es sich um einen Fremdkörper, so erhalten wir mittels Durchleuchtung in zwei zueinander senkrechten Linien häufig Anhaltspunkte genug, um den Ort derselben angeben zu können.

Eventuell bedienen wir uns der Seite 182 ff. erwähnten stereoskopischen Apparate, um das Körperliche des Bildes besser hervortreten zu machen.

Zur Messung der wahren Größenverhältnisse dient u. a. das Hoffmannsche Stativ, worüber Seite 180 das Nähere gesagt ist.

Der Instrumente zur Aufzeichnung der Organe in Größenverhältnissen, welche der Wirklichkeit nahe kommen, ist Seite 189 ff. gedacht worden.

Wo wir diese »wahren Größenverhältnisse« uns aufzeichnen, oder überhaupt irgend einen Befund unter Umgehung der Photographie fixieren wollen, legen wir auf den betreffenden Durchleuchtungsschirm ein durchsichtiges Pauspapier, auf welchem der Zeichenstift dann das Gewünschte aufträgt (»Röntgographie«).

Im übrigen sei auf die Darlegung in Kapitel 10, vor allem Seite 185 ff. verwiesen.

Von manchen ist vorgeschlagen worden, den Durchleuchtungsschirm mit Celluloid zu belegen und auf diese Fläche die Zeichnungen zu machen; ich kann dieses Verfahren als höchst minderwertig nicht empfehlen; auch hat das Celluloid den großen Nachteil, bald wellige Krümmungen, vornehmlich bei größeren Schirmen von 24 bis 30 und mehr, zu bekommen.

Dann glänzt dieser Belag sehr unangenehm, so daß das sonst ruhige Schirmbild etwas Unstetes bekommt; schließlich verliert man mit der Bleiglasdecke auch den so nötigen Schutz.

Was die Stellung der Röntgenröhre zum Schirme anlangt, so muß der »Leitstrahl« des Röntgenstrahlenbündels möglichst senkrecht auf den Schirm fallen. Als »Leitstrahl« habe ich nach den in der »neuern Geometrie« geltenden Gesetzen denjenigen Strahl bezeichnet, der als Mittellinie der kegelförmigen Emanation anzusehen ist (vergl. Fig. 265 Seite 197).

Es ist — mathematisch gesprochen — auch derjenige Strahl, mittels welches wir in der Orthodiagraphie zeichnen; in Wirklichkeit haben wir es allerdings nicht mit einem einzigen Strahle, sondern mit einem centralen Bündel zu tun.

Nach Natur der Sache wird der Leitstrahl bei der alltäglichen Durchleuchtung nur einen Punkt des Schirmes treffen, während alle seitlich davon gelegenen Teile des Bildes von mehr oder minder divergierenden Strahlen erzeugt werden; daher bei größeren Bildern die Vorzeichnungen, welche bei kleineren nicht oder wenig ausgesprochen sind.

Das Untersuchungsobjekt muß in der direkten Verbindungslinie des Leitstrahles möglichst dem Schirme genähert liegen, soll ein schönes Bild entstehen.

Unter gewissen Umständen aber müssen wir auf diese Art der Durchleuchtung verzichten, um einen sonst durch einen zweiten Schatten verdeckten Gegenstand sichtbar zu machen.

Was nun die einzelnen Körperregionen und Organe der Erwachsenen betrifft, so seien einige Winke gegeben, wobei als oberster Grundsatz gilt, daß wir das Nächstliegende am deutlichsten sehen.

Der Kopf. Zunächst haben wir bei der Durchleuchtung einen großen, mehr oder minder eiförmigen Schatten vor uns, entsprechend dem knöchernen Schädel; nur ganz ausnahmsweise können wir einige mehr oder minder dunkle Partien unterscheiden, aber nichts Genaues sehen.

Mit den im allgemeinen nicht ratsamen härteren Röhren wird hin und wieder die Gegend des »Türkensattels« sichtbar; von hier ab aber erscheint — mittels weicherer Röhre — das Bild gut differenziert. Es kommen zum Ausdrucke

die Stirnbeinhöhle, die Augenhöhle, das Nasenbein, die Kiefer, die Oberkieferhöhle, die Zahnalveolen und die Zähne, der harte Gaumen etc. Vom Türkensattel nach oben können wir bisweilen gewellte Züge unterscheiden; sie entsprechen den »Juga cerebralia«, in welche sich die von den Hirnhäuten umgebenen Gehirnoberflächenwindungen einlegen.

An der unteren Fläche des großen Dunkelraumes erscheint auch der »flügelförmige Fortsatz«; nach hinten kann man bisweilen den äußeren Gehörgang an dichteren Schatten unterscheiden.

Sehr gut heben sich die Halswirbel ab; zunächst der Atlas, dessen Halbringe ziemlich klar erscheinen, die folgenden Wirbel, ebenso deutlich, lassen auch ihre Fortsätze gut erkennen. Nach vorne sieht man, fast isoliert liegend, einen hufeisenförmigen Schatten, das Zungenbein. Mitunter sind auch die Knorpel der Luftröhre, vor allem der »Schildknorpel« zu sehen.

Nur selten kann man bei Verwendung eines größeren Schirmes das ganze Bild auf einmal überblicken; dann kommen aber schon dadurch Verzeichnungen zustande, daß nicht sämtliche Teile des Kopfes dem Durchleuchtungsschirme zugleich fest anliegen. Weiter aber machen sich Projektionsfehler als solche geltend.

Was den ersten Mißstand betrifft, so ist hierbei einer Grundregel der Durchleuchtungskunst zu gedenken:

Stets muß der Durchleuchtungsschirm fest an den zu untersuchenden Körper angedrückt werden, soll ein gutes Bild zustande kommen.

Die nicht fest anliegenden Gegenstände werfen einen vergrößerten flauen Schatten; dasselbe gilt wiederum, wie wir hier sahen, von allen an sich ferner, d. h. tiefer als in der Durchleuchtungsebene liegenden Regionen.

Wir müssen also schon bei Durchleuchtungen des Kopfes den Schirm der Reihe nach an Stelle für Stelle anlegen.

Noch mehr wird dies bei den gebräuchlichen Schirmgrößen von 24 × 30 bis 30 × 40 nötig, wenn wir den Brustkorb durchleuchten.

Während am Kopfe die Durchleuchtung von vorne nach hinten und umgekehrt nicht viel ergibt, so wird es bei der Brustdurchleuchtung geradezu zur Regel, mindestens von den vier in Betracht kommenden Seiten her zu durchleuchten, nämlich vorn-hinten; hinten-vorn; links-rechts; rechts-links.

Dabei wird zur Vermeidung falscher, vor allem zu schiefer Projektion, die Verschiebung der Röhre in der Höhe nötig, während der stehende Patient bald nach der einen, bald nach der anderen Seite sich vor der Blendenöffnung hin- und herbewegt.

Während man bei den Röhrenträgern gangbarer Konstruktion hierbei gezwungen ist, jedesmal die Stellung der Röhre am Träger zu ändern,

gleitet dieselbe in meinem Universalgestelle mit dem Gleitrahmen leicht auf- und abwärts (Tafel I).

Zunächst durchleuchten wir von der Brustseite aus, indem wir den Schirm mitten aufs Brustbein legen.

Derart überblicken wir zunächst die Brustbeinschatten, sodann die Bewegung der Rippen bei der Atmung, die Hebung und Senkung des Zwerchfelles, die verschiedene Höhe und Wölbung seiner beiden Hälften, entsprechend dem Volumen des Magens und der Leber bezw. deren Oberflächenraum.

Dann sehen wir die Pulsation des Herzens, den Verlauf der großen Gefäße nach oben, speziell denjenigen der Aorta bis zu ihrem Bogen, der zumeist nicht sichtbar ist. Vom Rücken her durchleuchtet, liegen zunächst die sehr schief nach außen und unten verlaufenden Rippen vor; sie bewegen sich bei der Atmung. Der entfernte Herzschatten erscheint unregelmäßig und sehr groß.

Die quere Durchleuchtung ergibt überraschende Bilder von der Lage des Herzens, dem Verhalten der verschiedenen Zwerchfellsegmente, dem Verlaufe der Wirbelsäule etc.

Am knöchernen Gerüste des Thorax erregt unser Interesse sodann die Schultergegend, die Schlüsselbeine u. s. w.

Der Oberarm erscheint unter dem Vorsprunge des »Akromions« in einer ganz seichten Grube; wir lassen ihn hin- und herbewegen und drehen.

Ein ganz interessantes Bild liefert sodann die Gelenkverbindung des Ober- und Unterarmes.

Indem wir die beiden Unterarmknochen betrachten, lassen wir die Hand abwechselnd nach oben bzw. unten wenden; es fällt uns das Übereinanderlegen der beiden Knochen Elle und Speiche auf, während die Gelenkbewegungen bei Beugung und Streckung unter diesen Umständen als höchst eigenartig erscheinen.

Nicht minder von Interesse sind die komplizierten Verhältnisse am Handgelenke, durch Mitbewegung der Mittelhandknochen, ihre Verschiebungen gegeneinander und in bezug auf die Gelenkenden des Unterarmes.

Die Hand selbst mit ihren Knochen, den Fingern etc. liefert ein instruktives Bild der betreffenden anatomischen Einzelheiten.

Gehen wir am Körper von der Brust aus abwärts, so kommen wir zunächst in ein Bereich, in welchem wir mit weichen Röhren gar nichts, mit härteren nur wenig sehen, es ist dies der Unterleib.

Dasselbe gilt im allgemeinen vom Becken der Erwachsenen und muskulösen Personen; allerdings sehen wir bei Leibdurchleuchtungen sich die Darmbeine beiderseits deutlich abheben, können auch bisweilen die

Pfannengegend in groben Umrissen verfolgen — immer aber stehen die Gefahren, welchen wir unsere hierbei hochangestrengten Röhren aussetzen, in keinem Vergleiche zu den Resultaten. Die Sichtbarmachung dieser Zonen gehört unbestritten ins Bereich der Photographie.

Der Oberschenkel dagegen erscheint bei nicht zu reichlicher Muskulatur besser, das Kniegelenk ist in seinen Einzelheiten recht gut zu durchleuchten; dasselbe gilt von dem Unterschenkel. Das Fußgelenk kann ebenfalls recht gut von allen Seiten her und nach allen Einzelheiten hin betrachtet werden.

Ebenso die Mittelfußknochen und Zehen; hiermit kommen wir wieder in ein Bereich, dessen Sichtbarmachung eine dankbare Aufgabe schon im Anfangsstadium der Röntgentechnik war.

Wir sind hier nur summarisch den normalen Verhältnissen gefolgt; es versteht sich von selbst, daß der Arzt die ihm als solche von Präparaten und auf Grund seines anatomischen wie pathologisch-anatomischen Wissens längst wohlbekannten normalen wie krankhaften Erscheinungen zu finden und zu erkennen weiß.

In Betracht kommen zunächst am Knochensysteme die Brüche und Verrenkungen; in der Brusthöhle an den Weichteilen die Größenveränderungen und Verlagerungen des Herzens, die Erkrankungen seiner großen Gefäße, die Erweiterungen derselben, die angeborenen Verlagerungen etc.

An und in der Lunge erkennen wir die abnormen Atmungsbewegungen bezw. die beschränkten Bewegungen des Zwerchfelles und der Lungen, den Stillstand eines Teiles etc., die Ansammlungen von Wasser am Rippenfell u. dgl. m. In den Lungen können wir Verdichtungen und tuberkulöse Stellen, sowie erkrankte Drüsen mitunter schon im Schirmlicht sehen.

In den Organen und in den Körperhöhlen entdecken wir eingelagerte und eingedrungene »Fremdkörper«, von den Zahnplomben an bis zu den verschluckten Gebissen, den eingedrungenen Nadeln und Kugeln.

All dies ist, wie gesagt, an sich für den Arzt nichts Neues; wenn er die Technik der Durchleuchtung als solche beherrscht, dann wird er gegebenen Falles nach einiger Übung stets das vorliegende »Krankhafte« ebenso auffinden können, als ob er ein Präparat vor sich hätte. Zeigt uns die Röntgendurchleuchtung schon in vielen Fällen mit einer in früherer Zeit nie geahnten Deutlichkeit die Verhältnisse und Sachlagen im Innern des Körpers, so wird diese Deutlichkeit zur erstaunlichsten Exaktheit, wenn wir die Leistungen der Röntgenphotographie uns zu diesen Zwecken dienstbar machen.

7. Röntgenphotographie (Radiographie).

Wie schon Seite 196 hervorgehoben wurde, so kommt die Radiographie, nach unserer Bezeichnung Röntgenphotographie zu nennen, in Anwendung:

1. Wenn es sich um starke Körperteile handelt, wo die Durchleuchtung keinen genügenden Aufschluß gibt;
2. wo es sich darum handelt, ein Bild auf objektive Weise dauernd zu fixieren; hieran schließt sich
3. die Lokalisation von Fremdkörpern durch Röntgenphotogramme, deren Sitz auf andere Weise nicht festzustellen ist.

Die diesbezüglichen Bilder werden alsdann in der Seite 210 ff. beschriebenen Weise, welche eine Abänderung des Davidsohnschen Verfahrens meinerseits darstellt, direkt oder abgepaust weiteren Messungen unterworfen, aus denen mit ungemeiner Sicherheit sich der Sitz des Fremdkörpers bestimmen läßt (vergl. Fig. 332 Seite 279).

Das Charakteristische der Röntgenphotographie, die Hilfsmittel und einzelnen technischen Maßnahmen sind schon Seite 196 ff. beschrieben; hier sei zusammenfassend nochmals folgendes betont.

Indem wir zu Röntgenphotogrammen uns der bereits beschriebenen Apparate und Nebenapparate bedienen, haben wir nachstehende allgemeinen Regeln zu beobachten:

1. Die Röntgenröhre muß den, dem Objekte angemessenen Härtebezw. Weichheitsgrad besitzen; sie muß in der Seite 197 Fig. 265 abgebildeten Weise zweckdienlich eingestellt sein;
2. es müssen Vorkehrungen getroffen sein, damit die Verschleierungen der photographischen Platte durch die sich bildenden »S-Strahlen«, sowohl*) von seiten der Umgebung, als auch von seiten des zu Untersuchenden auf ein Minimum reduziert werden;
3. geeignete Blenden müssen den photographisch wirkenden Strahlenkegel von X-Strahlen auf das möglichste Minimum reduzieren, damit keine Verschleierungen und keine Verzeichnungen eintreten;
4. wir bedürfen einer photographischen Platte von hoher Empfindlichkeit bei Erhöhung der Dicke der sensiblen Schichten: sie muß gegen Licht und Druck geschützt untergelegt werden;
5. die Röhre muß in richtiger Entfernung von der Platte fixiert sein, während das Objekt sich in der zur Herstellung einer beweisenden Aufnahme günstigsten ruhigen Stellung bzw. Lage sich befinden muß;
6. es muß die richtige Expositionszeit im großen und ganzen eingehalten werden.

---

*) Über »S-Strahlen« siehe Seite 276.

8. Besprechung dieser Punkte im einzelnen.

Ad. I. Härtegrad der Röhre. Die tägliche Beobachtung ergibt, daß wir beispielsweise mit einer gewissen Röhre, die neu und sehr wirksam ist, sehr wohl eine gute Hand photographieren können, daß aber dieselbe Röhre trotz genauester Einhaltung der Einzelvorschriften absolut keine Beckenphotographie liefert. Im Gegenteile werfen die Weichteile dicke Schatten, aus denen an den Seiten höchstens die Darmbeine hervorragen.

Wiederholen wir die Aufnahme bei längerer Expositionszeit, so schwärzt sich die Platte, ohne daß wir nur das Becken als solches, oder gar die Gelenkpfanne auf dem Bilde hätten. Andererseits — so wollen wir annehmen — haben wir eine Röhre gekauft, die uns als »mittelweich« bezeichnet wurde. Wir machen eine Beckenaufnahme, und sie gelingt vorzüglich in relativ kurzer Zeit. Photographieren wir nun mit dieser selben Röhre eine feinknochige Kinderhand, so fällt uns an dem Bilde auf, daß die Knochen zwar klar zu sehen sind, daß wir aber wenig oder keine Knochenstruktur erkennen können; beim Positivverfahren liefert die Platte ein etwas »flaues« Bild; die Knochen werden grau, und exponieren wir beim Kopieren länger, dann gehen die Knochen sofort in ein Schwarz über, das gar keine Struktur mehr hat, während sowohl die Weichteile als auch der Grund sich ebenfalls sehr schwärzen.

In beiden Fällen hatte die Röhre für das zweitgewählte Objekt nicht den zu verlangenden »Weichheitsgrad« bezw. »Härtegrad«.

Aus allgemeinen und aus diesen Gründen teilt man die Röhren, je nach ihrem Charakter, in verschiedene Klassen ein; die genaue Kenntnis der diesbezüglichen Eigenschaften der Röntgenröhren ist für die Röntgenphotographie von unumgänglicher Notwendigkeit.

Ich habe mich der Einteilung von Albers-Schönberg angeschlossen, die vier Grade des Röhrenzustandes annimmt; da dieser Zustand im allgemeinen direkt in Proportion zum Grade der Evakuierung zu stehen pflegt, so spricht man hier direkt von »verschiedenen Graden des Röhrenvakuums«. Wir haben die Grade:

Sehr weich. Die Fluoreszenz hat einen bläulichen Charakter, hinter der Antikathode bildet sich häufig ein blauer Lichtstreifen, Handknochen werden tiefschwarz, die Handwurzel nicht differenziert.

Im Skiatoskop werden nur die ersten Zahlen etwa bis 3, auf alle Fälle nur die 4 der ersten Reihe sichtbar; die Walterskala zeigt W. 5—4.

Weich. Fluoreszenz frei von blauem Lichte, kein »Anodenlicht«; die fluoreszierende Halbkugel zeigt eine gut gesättigte Fluoreszenz.

Elle und Speiche der Hand am Gelenke gut unterscheidbar, die Handwurzelknochen jedoch nicht so deutlich, ohne scharfe oder helle Zwischenfelder; die Mittelhandknochen und die Fingerknochen tiefschwarz, gut von den etwas helleren Weichteilen unterscheidbar und scharf abgesetzt.

Im Skiatoskop werden die Zahlen bis gegen 6, d. h. jene der ersten und die Hälfte der zweiten Reihe sichtbar; Walter-Skala Nr. 6.

Mittelweich. Ruhige, gleichmäßige, oft nicht so ganz tief gesättigte Fluoreszenz. Mitunter erscheinen an den Polen, oder ausgehend von den völlig ausgeschalteten, umgelegten Regulierungsdrähten (vergl. Fig. 229 bis 231 Seite 165ff.) büschelförmige Entladungen nach der Luft, oder häufiger nach näherliegenden Gegenständen, auch den Kabeln etc.

Knochen der Arme schwärzlich, meist die Markhöhle zeigend; die Handwurzelknochen sehr deutlich voneinander unterschieden, die Zwischenräume als helle Streifen; Mittelhand- und Handknochen hellgrau-schwarz, aber gut abgehoben, lassen die Markhöhle erkennen.

Skioptikon 1 bis 12, d. h. die Zahlen der ersten drei Reihen; W. 7.

Diese Röhre hat unter günstigen Bedingungen der Abstufung von Stromstärke etc. das weiteste Arbeitsfeld; unter Berücksichtigung der starken Durchschlagskraft, d. h. kurzen Bemessung der Expositionszeit, kann man auch von Händen noch gute Bilder bekommen, während Oberarm, Bein, Oberschenkel, Schulter unter normalen Expositionszeiten sehr gut werden.

Für Becken nicht zu starker Personen eignen sich diese Röhren sehr gut. Die sich stets bei Röhren selbst entwickelnden Stufen einer etwas höheren Evakuation, die noch im Rahmen des »Mittelweich« liegt, aber einen Anflug nach »Hart« hat, ohne das Büschellicht der harten Röhren zu geben, dienen mir mit Vorliebe zu Aufnahmen von Becken starker Personen.

Hart. Die Röhren sind schwer anzusprechen; anfangs gehen die Entladungen teilweise um die Röhre herum; auch nach erfolgter Ansprache zeigen sich lebhafte Büschelentladungen an den beiden Polösen, den Induktorklemmen etc.; es bildet sich viel Ozon; die Fluoreszenz der Röhre ist keine gleichmäßige, sie geht in Zonen und Flecken, auch auf die hinter der Anode gelegene Partie über, oder aber die ganze Kugel fluoresziert. Knochen und Handbilder grau, Fleisch fast ganz verschwunden; infolge der ungemeinen hohen Geschwindigkeit der ausgesendeten Strahlen »zerspritzen« dieselben auf dem Objekte und an den umstehenden Gegenständen, und geben so der Entstehung von »Sekundärstrahlen«, »S«-Strahlen*) genannt, Veranlassung. Infolgedessen verschleiern die Platten leicht, die Konturen der Knochen als Linien verschwinden etc. Immerhin kann man

*) Über »S-Strahlen« siehe Seite 276.

mit solchen Röhren event. auch, und zwar in kürzester Zeit, Aufnahmen machen, die aber im allgemeinen kontrastlos und daher wertlos sind. Skioptikon 1 bis 16, d. h. das ganze Feld hell, sämtliche Zahlen sichtbar; W. 8.

Wie angedeutet, kommen bei Röntgenröhren in bezug auf Härtegrade eine Reihe von Übergängen vor, sei es an nicht regulierbaren Röhren, sei es dadurch, daß die Abstimmung nicht auf die Zahl gelingt; diese Übergänge repräsentieren häufig einen ganz wertvollen Zufallserfolg, da beim Photographieren die hiermit hergestellten Photogramme Ideale werden können.

Auf alle Fälle muß man sich vergegenwärtigen, daß es sich bei diesen sämtlichen Angaben bezw. Forderungen um Näherungswerte handelt, die schon deswegen jeder Konstanz im Sinne von Zahlen entbehren, weil wohl kaum jemals sich zwei zu photographierende Objekte zahlengemäß identisch verhalten dürften.

Ad. 2 und 3. Schutz gegen Sekundärstrahlen, Anwendung von Blenden. Die verschiedenen der gebräuchlichen Apparate vereinigen beide Punkte, wie wir schon an den Abbildungen Seite 204, Fig. 273 sahen.

Über diese »S-Strahlen« folgendes:

Die Oberfläche eines von X-Strahlen getroffenen Körpers entsendet Sekundär-Strahlen, »S-Strahlen«, eine Umwandlung der ersteren unter Erhaltung ihrer Eigenschaften.

Die S-Strahlen werden in höherem Maße absorbiert, haben also geringeres Penetrationsvermögen.

Die Fläche, durch welche Röntgenstrahlen austreten, entsendet S^1-Strahlen, die wieder von S-Strahlen verschieden, jedoch ebenfalls weniger intensiv sind, als die X-Strahlen. Die Energie der Sekundärstrahlen ist zwar eine sehr geringe, indessen kann ihre photographische Wirkung der von X-Strahlen gleichkommen, ja sie übertreffen, weil X-Strahlen die empfindliche Schicht photographischer Platten besser durchdringen, S-Strahlen aber darin in höherem Maße absorbiert werden. Der Leuchtschirm allerdings verhält sich anders als die photographische Platte, da er einen größten Teil der einfallenden Energie in Fluoreszenz und Wärme umsetzt; die durch Röntgenstrahlen auf dem Leuchtschirm hervorgerufene Fluoreszenz wird daher durch die gleichzeitig auffallenden (von denselben Röntgenstrahlen erzeugten) Sekundärstrahlen nur unwesentlich verstärkt, während unter denselben Bedingungen die photographische Wirkung der X-Strahlen durch diejenige der S^1-Strahlen beträchtlich gesteigert werden kann. Übrigens kann die Wirkung der S^1-Strahlen eine ganz verschiedene sein.

Was die Abhaltung der »Sekundärstrahlen« betrifft, so ist sie von weitgehender Bedeutung. Wir nennen folgende Apparate:

Die Waltersche Bleikiste (vergl. Seite 204, Fig. 273) schützt uns vor den S-Strahlen, hat jedoch einen Nachteil, der darin besteht, daß man über die Richtung des wirksamen Röntgenstrahlenkegels nur schätzungsweise etwas weiß; auch ist es sehr umständlich, den Patienten in den Torbogen hineinzubringen.

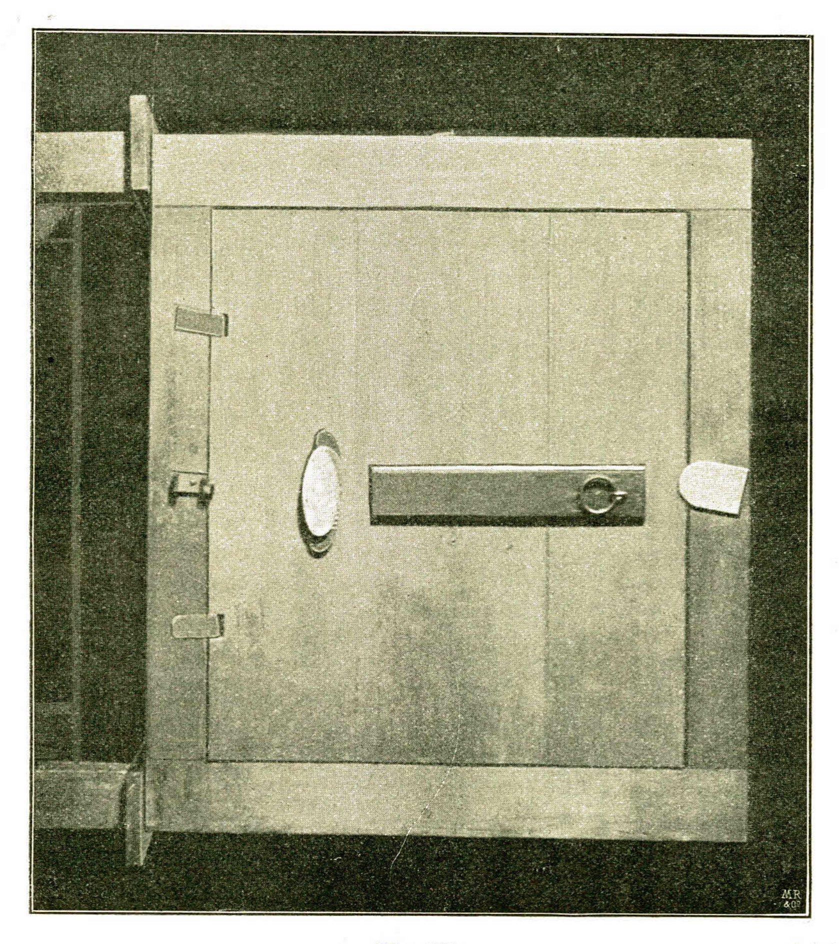


Fig. 330.

Um nun einer jeden Photographie eine orientierende und das Nähere ergebende Durchleuchtung ganz unter denjenigen Verhältnissen voraufgehen lassen zu können, wie sie sich bei der folgenden Photographie gestalten, um weiterhin die Verteilung des Lichtes auf der Platte, die Wirkung der Blende etc. im voraus genau bestimmen zu können, habe ich der Walterschen Kiste eine andere Anordnung gegeben.

Dieselbe erhellt aus Fig. 330 u. 331 und dient auch der Durchleuchtung, so daß ich berechtigt war, dieses Modell s. Z. als »Bleischutz für Durchleuchtung und Photographie« zu bezeichnen.

Die verschiebliche Pyramide und Röhre können bei seitlichen Aufnahmen auch seitlich gestellt werden, vergl. Fig. 331, so daß man auch seitlich mit senkrechter Projektion photographiert. Eine angebrachte Teilung garantiert eine symmetrische Verschiebung von einem Ruhepunkt aus, so daß stereoskopische Aufnahmen möglich sind.

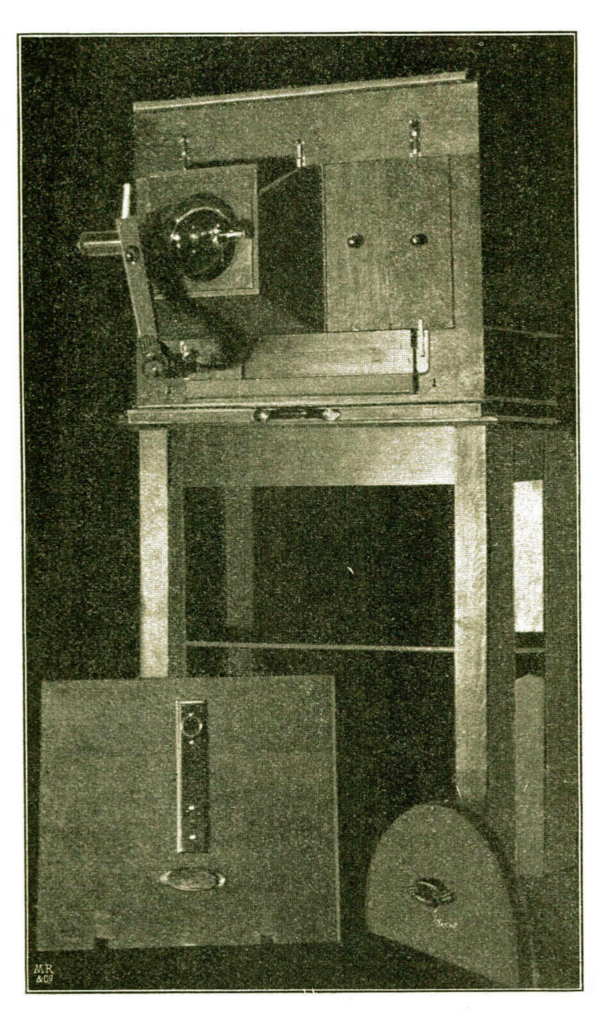


Fig. 331.

Über den Gebrauch folgendes:

Der Patient steht oder sitzt in entsprechender Höhe im Kasten, im letzten Falle auf dem verstellbaren Brett der Abbildung; auf der Rückseite des Kastens befindet sich ein zu öffnender Türrahmen, in welchen die aus Fig. 330 u. 331 ersichtliche Füllung nach vollendeter Durchleuchtung eingelegt werden kann; er trägt auch kleine Klemmen, in welchen dann die von oben herab in den Kasten eingelassene Kassette beim Photographieren ihren Halt bekommt. Die beiden Schieber unten und über dem Kasten werden dem Patienten möglichst genähert; photographiert man nur den oberen Teil des Körpers, etwa Schultern oder Kopf, dann wird mittels der zweiten Einlage (Fig. 331 unten rechts) der obere Torbogen beim Photographieren ganz geschlossen.

Auch zur Lokalisation von Fremdkörpern dienen Photogramme, mit diesem Kasten unter entsprechender Verschiebung der Röhre aufgenommen; die Deutung der Bilder erfolgt mit einem der auf Seite 211 beschrie-

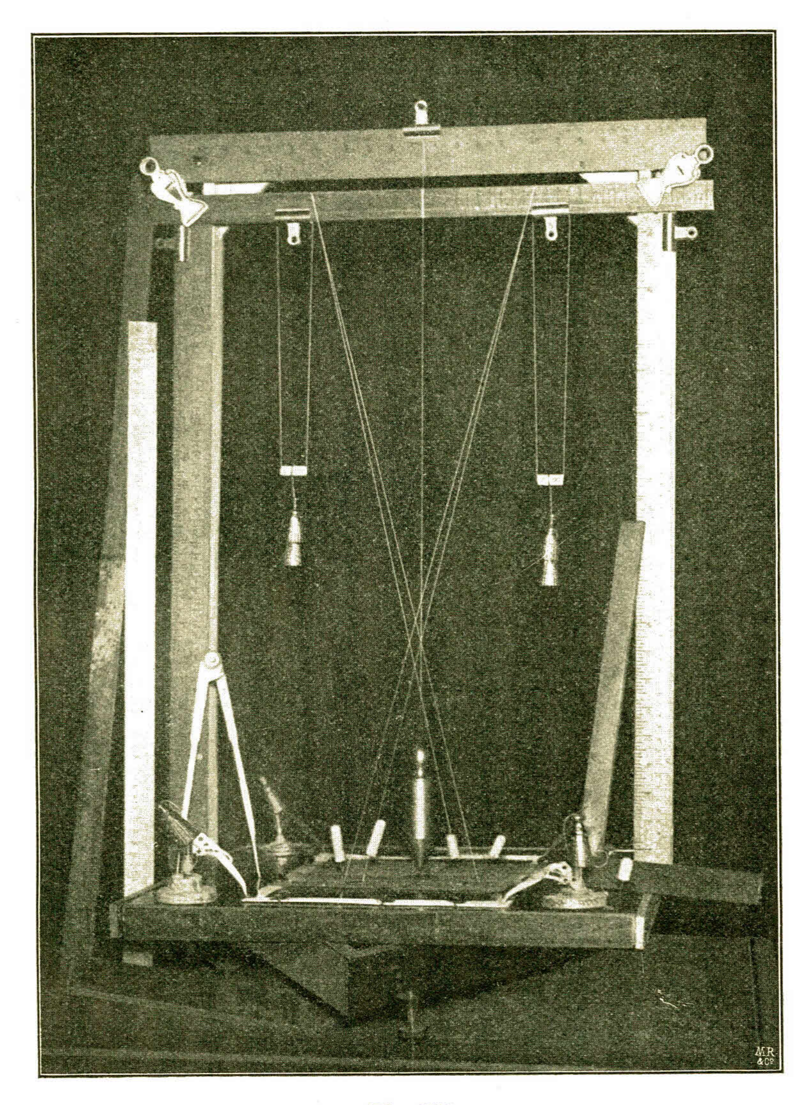


Fig. 332.

benen und in Fig. 277 abgebildeten Apparate und dem meinigen (vergl. Fig. 332) in ursprünglicher Form.

Über die Verhältnisse bei dieser Lokalisation durch Projektionslinien

gibt die dem Originale meiner Arbeit entnommene Abbildung Fig. 333 Aufschluß. Man sieht daraus, daß man bei diesen Projektionen immer den körperlich sofort zu erkennenden Sitz des Fremdkörpers erhält, gleichviel, ob man zur Projektion das Negativ oder das Positiv wählt.

Eine zweite Abänderung habe ich an der Walterschen Kiste angebracht, die sehr naheliegend und einfach ist; es wurde nämlich der Torbogen von der Grundplatte abnehmbar konstruiert (Fig. 334 und Tafel I). Man kann so vor Aufnahmen zunächst mittels — nicht mit Bleiglas bedeckten — Durchleuchtungsschirmes sich orientieren.

Übersicht der Projektionsverhältnisse.

Fig. 333.

Man legt den Schirm, die Schicht nach oben, in den Kasten, schätzt die Ausdehnung des erhellten Feldes, verkleinert dann die Blende oder ändert die Röntgenstellung, bis man ein nur so großes Feld und dieses symmetrisch erhellt vor sich hat, wie es für die betreffende Aufnahme nötig ist. Dann zeichnet man mittels Stift oder Kreide diese Lage des Schirmes an, nimmt den Bogen weg und lagert den Patienten so, daß die zu photographierende Körperregion genau über der markierten Stelle liegt. Nun wird die Platte entsprechend untergelegt, daß sie auf die Marke fällt, der Torbogen mit der schon früher eingestellten und fixierten Röhre aufgesetzt, und nach Herstellung der Kabelverbindung die Photographie aufgenommen.

Neuerdings habe ich hierbei das Prinzip der Kompressionsblende insofern dienstbar gemacht, als an Stelle der Pyramide ein bleiausgeschlagener »Turm« verwendet wird, der direkt auf den Körper des Patienten aufgedrückt, innerhalb der Bleikiste einen noch mehr begrenzten Raum

einengt; indem in einem größeren Turm solche von kleinerer Lichtweite eingeführt werden, kann man ganz eng umschriebene Punkte derart recht gut »abblenden« und photographieren.

Der Turm ist wie die Pyramide seitlich verschiebbar und durch Klemmen fixierbar, so daß der Druck, dem der betreffende Körperteil unterliegt, erhalten bleibt. Dieser Apparat ist sehr einfach, billig, und doch von weitgehender Leistungsfähigkeit. Es sei noch erwähnt, daß selbstredend auf dem »Turme« die Röntgenröhre ebenso fixiert wird, wie auf der Pyramide des abnehmbaren Modelles (siehe Tafel I).

Im allgemeinen wird man den Bleikasten mit Pyramide dann anwenden, wenn man ganze Übersichtsbilder wünscht, beispielsweise mittels Platten von 24 bis 30 und 30 bis 40 cm und mehr. Aber schon für 24 bis 30 cm kann bei dickeren Leuten der Bleiturm aufgesetzt werden. Handelt es sich um Schulter, Arm, Kniegelenk, Hüftgelenk, Kopf etc., dann kommt der Turm im Kasten zur Anwendung, unter welchem selbst eine Handphotographie weit kontrastreicher wird.

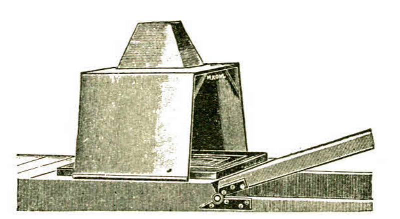


Fig. 334.

Ich sehe den Vorteil einer Verwendung des Turmes innerhalb der abnehmbaren Bleikiste darin, daß einmal jede Nebenstrahlung von anderen Gegenständen auch von unten und seitwärts auf ein Minimum reduziert ist, und ferner darin, daß die Bildung von Sekundärstrahlen im Fleische des Objektes, d. h. im Umkreise der zu photographierenden Stelle ebenfalls möglichst beschränkt wird.

Nach diesen prinzipiellen Anschauungen und den sich auf ihre Übersetzung in die Praxis seit Jahren gewonnenen Resultaten muß ich alle sogenannten »Lochblenden« in aufgelegten, die Röhre tragenden Folien, als einen in der Röntgenphotographie völlig ungenügenden minderwertigen »Abblendungsmodus« bezeichnen.

Ich muß vielmehr im Gegensatze zu vielen Beschreibungen und schönen Abbildungen ganz eingehend hervorheben, daß nach dem heutigen Stande der Wissenschaft für wirklich diagnostische Zwecke einzig die verschiedenen Formen der »Röhrenblende« in der Photographie das Höchste leisten.

Ausgehend von diesem Standpunkte, räume ich fernerhin für lokale, differentielle Aufnahmen einer kleineren Körpergegend, insoweit Platten von 18 × 24 cm genügen, der Albers-Schönbergschen Kompressionsblende vor allen anderen den Vorzug ein. Die Photographie von Nierensteinen

und Konkrementen in der Blase ist ohne dieses Hilfsmittel mit kleiner Blende sehr schwierig, während man umschriebene Stellen der Wirbelsäule, des Beckens, der Hüfte, der Arme und Beine, Hände wie Füße mittels Kompressionsblende geradezu ideal photographieren kann. Der Wert anderer Blenden, z. B. zu Durchleuchtungszwecken, besteht dagegen uneingeschränkt im Sinne unserer Ausführungen Seite 265 u. 266 fort.

Ad. 4. Photographische Röntgenplatte. Zunächst darf nicht vergessen werden, daß nur die Gelatine(trocken)platte sich zu Röntgenzwecken eignet. Die Kollodium- und anderen Platten sind unbrauchbar oder minderwertig. Es hängt die Brauchbarkeit der Gelatineemulsion wohl damit zusammen, daß die Grundsubstanz, die Gelatine, in Fluoreszenz gerät.

Es darf aber nicht übersehen werden, daß bei einfachem Guß der Platte und schwierigeren Objekten das Bild sehr matt ausfällt, ja sogar mißglücken kann.

Man gebraucht daher fast allgemein »doppelt begossene Platten«, die allgemein den Namen »Röntgenplatten« tragen; für ganz schwierige Objekte vierfach begossene Platten; obenan stehen die diesbezüglichen Schleußnerplatten.

Films haben wegen der schweren Entwicklung ohne Streifen ihre Nachteile; zweiseitig begossene »Levyplatten« sind heute ebenfalls nur wenig im Gebrauche; sie liefern auch gar zu oft auf beiden Seiten nicht gleichwertige Bilder.

Sodann muß man berücksichtigen, daß der Plattenvorrat stets weit entfernt vom Röntgenzimmer, und zwar an völlig trockenem Orte aufzubewahren ist, weil die Platten sonst verderben.

Um das lästige Einlegen der Platten im Dunkelzimmer zu umgehen, hat man die Platten in »Einzelpackung« bei geringer Preissteigerung in den Handel gebracht, was eine große Erleichterung bedeutet.

Will man hier einen Verstärkungsschirm (vergl. Seite 206) gebrauchen, dann muß man allerdings wieder in die Dunkelkammer zurück.

Ad 5 und 6. Entfernung der Röhre, Stellung des Objektes, Expositionszeit. Über die allgemein üblichen Entfernungen gibt die Tabelle Seite 198 ebenso Auskunft, wie über die Expositionszeit. Hierüber noch einiges mehr.

Gocht macht in seinem Lehrbuch folgenden Vorschlag:

»Das Platinblech steht senkrecht über der Mitte einer Platte von bestimmter Länge, und zwar in einer Entfernung, die gleich dieser Länge oder bis 10 cm größer ist.«

Dies setzt voraus, daß wir uns nach Walters Vorschlag mit der Plattengröße dem Objekte anpassen, worüber aber allgemeine Anhaltspunkte schwer zu geben sind.

Deshalb seien nachstehende Entfernungen als meistgewählt angegeben:

Finger 15 cm, Ellenbogen 25 bis 30 cm,
Knie 35 bis 40 cm, Brust, Becken 60 cm.

Beträgt die Plattengröße 8 : 12, so nehmen wir den Abstand beispielsweise zwischen 12 und 12 + 10 : 22 cm.

Ich habe mir unter Verwendung meiner Kasten angewöhnt, kleinere Objekte alle bei 40 cm, größere bei 60 cm aufzunehmen.

Auch die Expositionszeit leitet Gocht von der Plattengröße ab, natürlich ganz allgemein gehalten:

»Die Expositionszeit soll zwischen dem zehnten Teil der Plattenlänge und seinem Duplum schwanken«; sie kann aber bis zehnfach größer werden, ohne daß die Aufnahme mißlingt.

Also für 40 : 50 liegt sie zwischen fünf und zehn Minuten,
für 24 : 30 liegt sie zwischen drei und sechs Minuten.

Für seinen Induktor muß man sich eine ungefähre Tabelle selbst zusammenstellen, wobei man auf die einzelnen Röhren bezw. ihren Härtegrad Rücksicht zu nehmen hat.

Indessen braucht man sich nicht zu ängstlich an die Zahlen zu halten, da eine Abweichung in gewissen Grenzen (Gochts zehnfache Schwankung scheint mir zu weitgehend) nichts schadet und bei der Bildentwicklung wieder ausgeglichen werden kann.

Von kleinen Aufnahmen metallener Fremdkörper, ferner von Nieren- und anderen Steinen abgesehen, tut man gut, lieber etwas länger zu exponieren.

9. Die Hervorrufung des latenten Röntgenbildes (Bildentwicklung).

Mit der eigentlichen Röntgenaufnahme ist der Akt der Röntgenphotographie nur halb geschehen; es schließt sich nunmehr derjenige der Bildentwicklung an; sie geht in einer Dunkelkammer vor sich, welche möglichst große, ausschaltbare, farbige Lampen enthalten soll.

Diese Hervorrufung des latenten Bildes hat von anderen Gesichtspunkten aus zu geschehen, als es sonst in der Photographie und vor allem in der Amateurphotographie der Fall ist.

Mittels der dort gebräuchlichen Entwickler, d. h. diese in den üblichen Stärken verwendet, wird man keine schönen Röntgenplatten bei schwierigeren Aufnahmen bekommen.

Ein orientierender Vergleich lehrt rasch, daß die »Deckung« unter jenen Umständen keine genügende wird.

Welchen Entwickler man auch nehmen mag, stets ist der Alkalizusatz viel stärker zu wählen.

Eine Reihe von Entwicklern und Entwicklermischungen sind neuerdings angepriesen.

Viel gelobt wird Rodinal und auf Prospekten verschiedener Plattenfirmen als das Beste empfohlen, und zwar für gewöhnliche Entwicklung ($^1/_4$ Stunde lang) Rodinal 1 : 40 mit wenig Bromkalilösung. Wenn nicht ausreichend, tropfenweiser Zusatz von

30 Rodinal,
10 Bromkali,
30 Wasser.

Sodann der Brillantentwickler mit viel Bromzusatz.

Glyzinentwickler wird ebenfalls gerühmt. Derselbe hat allerdings in der Photographie einen sehr guten Namen und leistet in seinen verschiedenen Zusammensetzungen bezw. Verdünnungen ganz Ausgezeichnetes. Am besten geht man von der Stammlösung aus, die v. Hübl empfahl:

40 Aq. dest.,
25 Natriumsulfit, warm gelöst, dazu
10 Glyzin, dazu allmählich
50 Pottasche.

In der gewöhnlichen Photographie verdünnt man 3 : 100 Wasser auf je 100 Mischung 5 bis 10 ccm 10 $^0/_0$ Bromkalilösung für Momentaufnahmen. Dieses Verhältnis dürfte auch für Röntgenbilder dienlich sein, vielleicht auch 1 : 25 »rasch wirkender Glyzinentwickler«.

In folgender Form hat sich das Glyzin bei der Standentwicklung von Röntgenplatten gut bewährt, und werden mit demselben glasklare und kontrastreiche Bilder erzielt; ich arbeite seit Jahren so. Eine »Stromlösung« von:

1 l destilliertes Wasser,
250 g schwefliges Natron
250 g kohlensaures Kali,
50 g Glyzin

wird vorrätig gehalten; dieselbe kann lange Zeit in der Dunkelkammer aufbewahrt werden, ohne unwirksam zu werden. Der entsprechenden Menge Vorratslösung werden zum Gebrauch die zehnfache Menge destilliertes oder abgekochtes Wasser zugesetzt und auf jeden Liter der Verdünnung je 1 ccm Bromkalilösung (1 : 10) zugefügt. Man füllt die Gefäße in der Weise, daß man in ein großes Standgefäß 450 ccm Vorratslösung und dazu destilliertes Wasser ad 4500, in ein kleineres 200 ccm Vorratslösung und destilliertes Wasser 2000 gießt.

Als Gefäß dient ein entsprechend hohes, schmales »Standentwicklungsgefäß« mit gut schließendem lichtdichten Deckel.

Hirschmann hat eine Zusammenstellung in den Handel gebracht, die in einem hölzernen Gestelle zwei verschieden große metallene Gefäße für Platten 24 : 30 bezw. 40 : 50 für Standentwicklung trägt; ein Holzdeckel schließt lichtdicht; ich verwende eine Einlage für Platten 30 × 40.

Man kann mittels der beigegebenen einfach konstruierten Plattenhalter je zwei Platten auf einmal in jedes Gefäß bringen, was die Arbeit erleichtert und abkürzt.

Indessen haben diese Halter ihre Schattenseiten, indem von der obersten Klemme her nicht selten Streifen über die ganze Platte ziehen; ich habe mir daher einen Rahmen aus Messingdraht konstruiert, der mittels zwei aufgebogener Nasen von unten her, und mittels zwei solcher von beiden Seiten die Platte umfaßt, während oben auf der Plattenlinie kein Halter ist. Zieht man nun oben an dem in sich zurücklaufenden, einen Rahmen bildenden Drahte, dann greifen bei der Nachgiebigkeit des Drahtes die Nasen noch fester an das Glas an, so daß die Platte ganz sicher gehalten wird. Durch abwechselndes Umbiegen der Nasen nach vorne bezw. hinten, je an der unteren Kante der Platte bezw. den beiden Seitenkanten, kommt ein Gestell zustande, das zwei Platten, Glas gegen Glas, Schichten außen zugleich trägt; man muß dann nur beim Herausnehmen die eine Platte stützen, daß sie nicht umfällt, während man mit der andern Hand die zweite Platte heraushebt.

Die Standentwicklung vollzieht sich, indem man etwa eine Viertelstunde nach dem Eintauchen der Platten in die frisch gemischte Lösung wieder nachsieht; dann kann man ein Urteil fällen, wie lange diese Standentwicklung dauern wird ($^1/_2$ Stunde oder $1^1/_2$ bis 2 Stunden). Da die Entwicklung zumeist sehr langsam verläuft ($^3/_4$ bis 1 Stunde), können Expositionsfehler ausgiebig verbessert werden; andererseits verliert man keine Zeit mit dem Schwenken der Entwicklungsschale u. dgl. mehr.

Einzige, aber unumgängliche Vorbedingung für gutes Gelingen ist:

a) Eine Temperatur des Entwicklers im Gefäße von ca. 20 Grad Celsius, denn schon bei ca. 18 Grad werden die Platten braun und gehen nicht vorwärts; dann eine ebenso hohe Temperatur in der Dunkelkammer.

b) Jedesmalige Abfüllung der gebrauchten Mischung in eine große, gut zu verschließende Flasche; denn trotz gegenteiliger Angabe verdirbt der im Gefäße freistehende Entwickler.

c) In dieser Flasche wird der Inhalt vor dem erneuten Gebrauche wieder gut vermischt, event. auch erwärmt; bis gegen 23 Grad Celsius kann die Erwärmung gehen, ohne daß die Platten leiden.

d) Nach ca. zwölfmaligem Gebrauche für große Platten 24 bis 30 oder mehr ist die Standentwicklungsmischung erschöpft; man erkennt dies sofort bei der ersten Kontrolle des Bildes, wenn man an Stelle einer klaren Zeichnung in Schwarz auf mehr oder minder gelbem Grunde, eine schmutzige Verfärbung nach Rötlich-Braun sieht. Dann ist der Entwickler zu schwach; die Platten werden abgespült, eine neue Mischung kommt in das Gefäß, die Platten werden eingesetzt und alles geht seinen Gang. Für schwierige Objekte, wie Becken, wende ich eine Mischung nicht über drei- bis viermal an, während sie anderen Zwecken noch lange dienen kann.

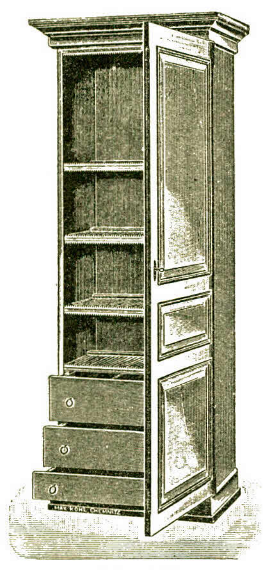


Fig. 335.

Es sei bemerkt, daß in Glyzin manche Platten bräunlich werden und sich dann erst im Fixierbade schwarz färben.

Nach geschehener Entwicklung werden die Platten, welche meist auch von der Glasseite her das Bild durchscheinen lassen, während mindestens einer halben bis ganzen Stunde in fließendem Wasser ausgewässert und abgebraust; dann kommen sie in eine Lösung von ein Teil Fixirsalz auf acht Teile Wasser, als Fixirbad; auf jeden Liter setzt man eine Lösung von 5 g Weinsteinsäure in 50 Wasser zu. Hier verbleiben sie, bis auf der Glasseite keine Braun- oder Gelbfärbung mehr sichtbar oder das Bild glasklar ist, d. h. bis das überschüssige Bromsilber alles gelöst ist. Man sieht nun nach, wann die Platte am deutlichsten ist, und nimmt sie je nach ihrer Dichte früher oder später heraus. Alle Platten gehen bei langem Liegen im Fixierbade »zurück«, sie werden dünner, matter. Nach genügender Ausfixierung kommen die Platten wieder ins fließende Wasser und bleiben dort mehrere Stunden; dann werden sie zum Trocknen aufgestellt.

Die fertige Platte wird besichtigt, indem man sie schief über einen weißen Bogen Papier oder eine weiße Entwicklungsschale hält, während das Licht von obenher auf die weiße Zone und von hier erst von untenher auf die Platte fällt. So sieht man viel mehr, als wenn man die Platte, falls sie »weich« ist, direkt gegen das Helle hält. Andrerseits sind zu diesem Zweck auch die Seite 207 erwähnten Schaukästen dienlich.

»Harte« Platten, wie man sie leicht mittels Brillantentwicklers erhält, müssen häufig direkt gegen das Licht gehalten werden.

Die weiteren Maßnahmen der Plattenbehandlung sind dieselben, wie in der Amateurphotographie und werden als bekannt

vorausgesetzt; nämlich die Abschwächung, die Verstärkung und das Positivverfahren.

Bezüglich des letzteren sei bemerkt, daß man häufig gut tut, beim Kopieren oben auf die Glasseite der Platte einen weißen Bogen Papier zu spannen, nicht aber direkt auf die Platte zu legen.

Dann werden die Bilder viel schärfer, allerdings unter verlangsamter Kopie; bei dickem Papier kann man direkt in der vollen Sonne eine gute Kopie derart erhalten.

Man kopiert im allgemeinen sehr dunkel; im weiteren Verfahren muß man erst gut auswässern und dann im Tonfixierbade mittels Schaukelns der Schale den oft braunen Grund völlig beseitigen und in Weiß überführen.

Was in der übrigen Photographie ein schwerer Fehler ist, das gewinnt hier den Charakter einer nötigen Manipulation, weil wir hier den Grund als solchen nicht brauchen, d. h. weil sich das Bild vom weißen Grunde viel besser abhebt. Vergessen darf nicht werden, daß die Platte, von der Glasseite betrachtet, mit dem »Durchleuchtungsbilde« auf dem Schirme zusammenfällt, was auch vom Positiv gilt. Die Aufbewahrung der Platten erfolgt in besonderen Fächern oder Kästen, wovon Fig. 335 einen Begriff gibt.

II. Röntgentherapie.

10. Physiologisches.

Auf Grund einer größeren Anzahl von Beobachtungen, nicht minder auf Grund der seitens der Röntgenstrahlen angerichteten Schädigungen kam man zur Überzeugung, daß diese X-Strahlen einen ganz bestimmten Einfluß auf die von ihnen getroffenen Gewebe ausüben würden.

Die an niederen Lebewesen konstatierten Veränderungen der »vitalen Energie« wurden sodann an höher organisierten Tieren, schließlich an kleinen Säugern nachgeprüft.

Hier, wie beim Menschen selbst, gab sodann die genauere mikroskopische Untersuchung bei Verwendung der in Frage kommenden Färbetechnik Aufschluß darüber, in welcher Weise beispielsweise eine gesunde Haut bei Einwirkung der X-Strahlen sich verändere, inwieweit eine erkrankte, z. B. lupöses Gewebe.

Bald war man sich darüber einig, daß wir im Röntgenagens einen wichtigen therapeutischen Faktor, vor allem zur Behandlung gewisser Hauterkrankungen habe.

Wie stets, sproßten eine Reihe von Theorien aus der Erde, die das

scheinbar Mystische der Röntgenstrahlenwirkung zu deuten und erklären bestrebt waren.

Auch heute hört man noch in bezug hierauf seitens gewisser »Fachmänner« Ideen vertreten, die allem entgegen stehen, was die Grundlehren der Physiologie längst besagen.

Wenn wir zum ersten Male ein Agens vor uns haben, dessen Eigentümlichkeit darin besteht, nicht auf der Oberfläche der Körper Halt zu machen, sondern mehr oder minder tief in dieselben einzudringen, so können wir uns nicht wundern, daß dieses Agens auch in der Tiefe der Haut seine Wirkungen entfaltet.

Je nach dem Härtegrad der strahlenliefernden Röntgenröhre konzentriert sich diese Wirkung mehr auf die oberste, mehr in die zweite, dritte Schicht der Haut, oder aber noch tiefer.

Somit kann von etwas »Spezifischem« schon deswegen nicht geredet werden, weil ganz nach Verwendung von Röhren auch dieses angeblich »Spezifische« sich und seine Wirkung ändert.

Die Einwirkungen des Röntgenagens fallen unter den großen Kreis der »Reize« bezw. der »Reizwirkungen«, die von außenher unseren Körper treffen. Wie der mechanische Reiz sich vom thermischen, dieser wieder vom elektrischen, dieser wieder vom chemischen sich unterscheidet, so haben die Röntgenstrahlenwirkungen unterscheidende Merkmale gegenüber allen anderen Reizqualitäten.

Für sämtliche Reize aber, auch die von »Strahlungen« ausgehenden (vergl. Seite 251), gilt das von Hermann aufgestellte Gesetz:

»Die Einwirkung der Außenwelt beruht auf der in den tierischen Organen sehr verbreiteten Eigenschaft der Reizbarkeit; sie besteht darin, Einwirkungen gewisser Art, die man »»Reize«« nennt, mit vorübergehender Veränderung zu beantworten, welche »»Erregung«« heißt.«

Des weiteren ist das physiologische Gesetz zu beachten:

»Die Arbeit der Erregung ist keineswegs äquivalent der Arbeit selbst, d. h. der Stärke des Reizes. Der Reiz von außen wirkt nur auslösend auf ein Quantum von Spannkräften; daher hängt der Gesamterfolg von verschiedenen Umständen ab.

So kann ein und derselbe kleine Funke ein verschieden großes Quantum von Sprengstoffen zur Explosion bringen; von dem Charakter dieser Stoffe hängt der Umfang der Explosion mit allen Neben- und Nachwirkungen ab, nicht aber von der Größe des entzündenden Funkens!

Somit wird auch die Wirkung der Röntgenstrahlen auf der Haut sich ganz verschieden gestalten, je nach dem Zustande

oder wissenschaftlich gesagt, dem »Reizzustande«, in welchem sich die Haut befindet.

Eine gesunde Haut wird anders reagieren, als eine schon erkrankte, oder eine durch Bestrahlung schon zuvor gereizte. Damit stimmt auch die tägliche Erfahrung, daß beispielsweise ein lupöses Gewebe viel intensiver bestrahlt werden kann, ohne die Gefahr einer »Verbrennung«, »Röntgendermatitis« genannt, als eine sonst gesunde Haut, in deren Tiefe beispielsweise nur die Haarwurzeln, zwecks Beseitigung eines überschüssigen Haarwuchses zum Absterben gebracht werden sollen.

Aber auch die einzelnen Körperteile ein und desselben Individuums zeigen eine verschiedene Empfindlichkeit (»Reaktionsfähigkeit«) gegenüber den X-Strahlen.

Während diese Tatsache allgemein anerkannt wird, wollen Andere, in direkter Verkennung der erwähnten Grundregeln der Physiologie, das Gesetz der Gleichmäßigkeit, das nirgends in der lebenden Natur existiert, einführen. Von dieser Seite wird auch die individuelle Schwankung verschiedener Menschen in bezug auf »Empfänglichkeit« gegenüber den Röntgenstrahlen schlechtweg geleugnet.

Für uns existiert das Gesetz der Individualität sowohl in bezug auf die verschiedenen Individuen, als auch in bezug auf deren Organe und Körperregionen.

11. Dosierung.

Indem wir von diesen Gesichtspunkten ausgehen, sind wir bei Verwendung der X-Strahlen bemüht, die Einwirkung des Reizes in denjenigen Grenzen zu halten, welche wohl den gewollten Erfolg bringen, jedoch eine weitere Einwirkung möglichst einschränken.

Auf Grund vieler Einzelbeobachtungen haben sich heute gewisse Regeln ergeben, nach denen die »Röntgenbestrahlung« vollzogen wird.

Während einige Röntgenspezialisten mit einem an Starrheit grenzenden Dogmatismus nur ihre Methode und sie allein als die richtige bezeichnen und einzig angewendet wissen wollen, während diese Autoren schnell bei der Hand sind, alles andere als »falsch« zu bezeichnen, so huldigen wir dem Grundsatze: »eines schickt sich nicht für alle«. Ferner gehen wir von der Überzeugung aus, daß ohne genaue Individualisierung, d. h. Anpassung des gewählten Reizes an die Eigentümlichkeit (»Reizbarkeit«) des Patienten ein wahres ärztliches Handeln ausgeschlossen sei.

Die Kenntnis einer Anzahl von Methoden, mit denen gearbeitet werden kann, ist daher Vorbedingung für eine regelrechte Verwendung der X-Strahlen

zum Zwecke der Behandlung. Je nach Art des Falles wird man die einzelnen Methoden anwenden.

Was nun die sogenannte Dosierung der X-Strahlen betrifft, so haben wir allerdings in dem Seite 203 erwähnten und in Fig. 270 abgebildeten Radiometer von Holzknecht einen »physikalischen« Maßstab; wir erfahren dadurch, eine wie große Energiemenge von der Röhre ausgeht; damit wissen wir noch nicht, wie sich jedes Einzelindividuum im Einzelfalle verhält. Die »Idiosynkrasie« gegenüber den Nahrungsmitteln, gegenüber den Arzneimitteln wie Salizyl, Jod, Chinin und gewissen andern Salzen, tun am klarsten dar, daß selbst bei den rein chemischen Reizwirkungen bei verschiedenen Organismen starke Schwankungen vorkommen; die »Jodoformdermatitis« lehrt uns, daß wir in den Zahlen noch keine Garantie besitzen, überhaupt nicht zu schaden.

Sodann zeigt uns die Physiologie, daß einseitige physikalische Maßstäbe noch nichts besagen in bezug auf physiologische Wirkungen.

Trockene Luft von 100 Grad wirkt physiologisch ganz anders als feuchte von derselben Temperatur; in beiden Fällen aber würde das Thermometer denselben Grad anzeigen. Sodann hat es sich in der ganzen Elektrotherapie, vor allem auf dem Gebiete der Franklinisation gezeigt, daß der physikalische Standpunkt uns bei Erklärungen physiologischer Wirkungen völlig im Stiche läßt. Denn die physiologische Wirkung ist nicht dieselbe, wenn ein schwacher Reiz lange, ein starker kurze Zeit einwirkt! Individualisieren ist und bleibt Hauptprinzip!

12. Einzelne Bestrahlungsmethoden.

Was nun die einzelnen Bestrahlungsmethoden betrifft, so unterscheiden sie sich durch den Charakter der zur Verwendung kommenden Röhren von verschiedenem Härtegrade, durch die verschiedene Dauer der Einzeleinwirkung, durch die Menge der Einzelsitzungen im Rahmen einer Behandlung, durch die relative Raschheit der Aufeinanderfolge der Einzelsitzungen, durch die Art des Schutzes der Patienten, während über die Stromstärke und die Entfernung der Röhren vom Objekte eine größere Übereinstimmung — bei Erhaltung von ausgesprochenen Gegensätzen — existiert.

Einige Methoden der Röntgenbestrahlung:

Methode nach Kienböck, Wien. 1901.

Kräftiges Instrumentarium, Induktor von 30 bis 40 cm Funkenlänge, Anschluß an eine Centrale, 6 bis 8 Ampère (!!), mäßiger Röhrenabstand,

intensives »kritisches« Licht, Entfernung 15 bis 20 cm vom Objekt; Expositionszeit 5 bis 20 Minuten, bei 20 bis 30 Unterbrechungen pro Sekunde, d. h. 1200 bis 1500 pro Minute. Weiche Röhren vorzuziehen, doch gilt das Gesetz: »Geeignet ist jeder Röhrenzustand, der bei einer Entfernung von 60 cm vom Fokus der Röhre den Thorax eines Erwachsenen von Mittelgröße gut durchleuchtet, und wo ein Bild auf einer Schleußnerplatte in 30 Sekunden Expositionszeit entsteht.

5 Minuten heißt eine »geringe Wirkung« bei der Bestrahlung, 20 Minuten eine »normale Expositionszeit«. (!)

Zum Schutze eine 0,5 mm dicke Bleifolie mit Ausschnitt, und mittels Flanell gepolstert.

Unter diesen Umständen gibt man:

a) Täglich eine Sitzung von geringer Wirksamkeit, d. h. von 5 Minnten Dauer, bis die Reaktion erscheint, was nach ca. zwei Wochen eintritt.

   Die Anfänge der Reaktion können dann auf die gewünschte »Normalreaktion« gesteigert werden. Mühsames und zeitraubendes Verfahren.

b) Entweder zweimal wöchentlich mittelkräftige Sitzungen, oder eine Serie von mehreren mittelstarken Sitzungen. Reaktion nach ca. 14 Tagen.

   Die empfehlenswerteste Methode.

c) Normale Expositionszeit, also 20 Minuten Dauer in einer einzigen Sitzung; Abwarten der Reaktion. Nach K. nur bei großer Übung zu verwenden, nach meinen Erfahrungen meistens wirkungslos bezw. ohne die genügende Wirkung, bald erschreckend in seiner Wirkung. Die hohen Primärspannungen werden stets zu Bedenken gegenüber einem solchen Vorgehen berechtigen, dies noch mehr bei Gebrauch »weicher« Röhren.

Methode nach Schiff, Wien 1901.

Geringe primäre Stromstärke, also höchstens 2 Ampère bei 12 Volt Spannung. Entfernung der Röhre vom Objekte 20 bis 25 cm. Nur harte Röhren, die »eine geringe chemische Wirkung auf der lichtempfindlichen Platte ausüben«. Letzteres zur Vermeidung von reaktiven Entzündungen.

Tägliche Sitzungen, nicht über 10 Minuten Dauer. Schutzmasken, die von einer 0,5 mm dicken Bleifolie überzogen sind. Die Stirnhaare müssen von dieser Maske mindestens 8 mm überragt werden.

Haarausfall nach 10 bis 40 Sitzungen, Nachlese nach einiger Zeit in wöchentlichen Sitzungen, völliger Haarschwund nach einem Jahre.

Methode nach Freund, Wien. (Modifizierte Schiffsche Methode von 1898.)

Induktor von ca. 30 cm Schlagweite, Anschluß an Centrale oder Akkumulator von 6 Zellen. Stromstärke zwischen $1^1/_2$ und 3 Ampère; 16 Unterbrechungen pro Sekunde, gleich ca. 1000 pro Minute.

Harte, hochevakuierte Röhren, doch mit noch deutlich erkennbarer grüner Fluoreszenz der Kugel. Abstand anfangs 15, successive auf 5 cm verkleinert. Sitzungsdauer anfangs 5, später 10 Minuten.

Bestrahlung so lange, bis der Erfolg eintritt; kommt die Reaktion früher, dann wird sofort ausgesetzt. Zuweilen auch Abwechslung mit weichen Röhren.

Bleischutz, der beispielsweise die obere Gesichtshälfte deckt, während von der Nase ab alles frei ist (gegen Haarwuchs).

Methode nach Hahn-Albers-Schönberg, Hamburg. 1900.

Zu berücksichtigen: Röhrenqualität, Röhrenabstand, Stromspannung des primären Stromes, Zahl der Unterbrechungen, Dauer der Sitzungen, Schutzvorkehrungen.

Induktor von 30 oder 40 cm Funkenlänge, Stromstärke von 3 bis 4 Ampère und 30 Volt; Entfernung 5 bis 25 cm; Unterbrechungszahl bei Motorunterbrechern 35 bis 50 Touren in der Sekunde, gleich 1800 bis 3000 pro Minute.

Anfangs Sitzungsdauer 10 Minuten, wenn keine Nebenerscheinungen, bis 20 zu steigern. Röhren regulierbar, groß, von Müller; hart in einer, weich in der andern Serie von Fällen.

Dauer der Kur: bei Ekzem 12 bis 30 Sitzungen, bei Lupus inkl. der Pausen wegen Reaktion, Monate.

Zum Schutze eine Stanniolmaske; d. h. eine gewöhnliche Kartonmaske bekommt oben eine Verlängerung und wird mit Stanniol beklebt; die zu behandelnden Partien werden ausgeschnitten, Röhrenstand wie bei Photographie bei bequemer Position des Patienten.

Methode Schürmayer, Hannover. 1900/01.

Anschluß an Centrale, Induktor von 40 cm Schlagweite bei 25 cm Funkenlänge und höchstens 15 bis 20 Volt und 2 Ampère angestrengt, mit 1500 bis 2000 Unterbrechungen pro Minute; bequeme Lagerung des Patienten bezw. bequemer Sitz mit Kopfstütze (vergl. Tafel I).

Für Kopf und Gesicht Stanniolmasken nach Hahn-Albers-Schönberg; sonst nur Unterlegen einer nach dem Boden abgeleiteten Bleiplatte unter das zu bestrahlende Glied; am Rumpfe Auflegen einer abgeleiteten Bleifolie mit Ausschnitt.

Auf Grund experimenteller Studien wird vorausgesetzt, daß das »Röntgenstrahlen« genannte Agens sich aus Einzelkomponenten zusammensetzt. Diese sind:

1. Die direkte Wirkung der X-Strahlen selbst.
2. Eine direkte Übertragung des elektrischen Fluidums von der Röhre her.
3. Jene elektrischen Ladungen, welche auf einem jeden körperlichen Gegenstande — also auch auf den Wasserdampf- und Staubpartikeln der Luft — insbesondere auf der Körperoberfläche des zu bestrahlenden Objektes sich bilden. Diese wiederum sind aber erzeugt durch die dort entstehenden »S-Strahlen«.
4. Influenzerscheinungen, hervorgerufen von den statischen Ladungen der Röntgenröhre, mittels der für Elektrizität eigentümlichen Fernwirkung, »Influenz« genannt. Da aber mit der Wirkung von elektrischen Erscheinungen unzertrennlich die Entstehung von Ozon verbunden ist, so kommt in Frage eine
5. Ozonwirkung an der Stelle, wo die elektrischen Schwingungen auftreten.

Es werden neben den genannten Maßregeln daher zunächst die statische und die übrigen elektrischen Erscheinungen eliminiert, indem die Röntgenstrahlen durch das Diaphragma einer Bleifolie treten, welche mit dem Erdboden leitend verbunden ist. Diese »Erdung« entspricht auch sonst den Regeln der allgemeinen Elektrotechnik, indem jeder Übertritt von Funken von seiten der Röhre auf den Patienten ausgeschlossen ist. Daher wird diese »Erdung« auch an den Durchleuchtungsstellen angebracht; von ihr wird auch bei Photographieen Gebrauch gemacht.

Auch die Masken sind »geerdet« (vergl. die Abbildung auf Tafel I).

Zur weiteren Regulierung der Röhren dient eine neue »Ventilröhre«, von Schilling-Gehlberg hergestellt; es handelt sich um eine in einer Glaskugel eingeschlossene Funkenstrecke mit veränderlicher Luftstrecke; die Glaswand ist mehrfach perforiert, zur Vermeidung der Erwärmung (vergl. Tafel I).

Diese Ventilröhre wird vor der Anodenklemme am Induktor, oder bei Hochstand desselben vor der Anodenöse der Röhre angebracht.

Sie dient auch zur Beseitigung von Überlastungen kleinerer Röhren bei Nichtausreichen der Einschaltung sämtlicher Widerstände im primären Stromkreise.

Diese Ventilöhre wird bisweilen mit Vorteil auch bei Durchleuchtungen gebraucht (vergl. Tafel I im Hintergrunde links).

Um Zeit zu ersparen, ist das Durchleuchtungsgestell so konstruiert, daß mittels zweier, hintereinander geschalteter Röhren zwei Patienten zugleich bestrahlt werden können.

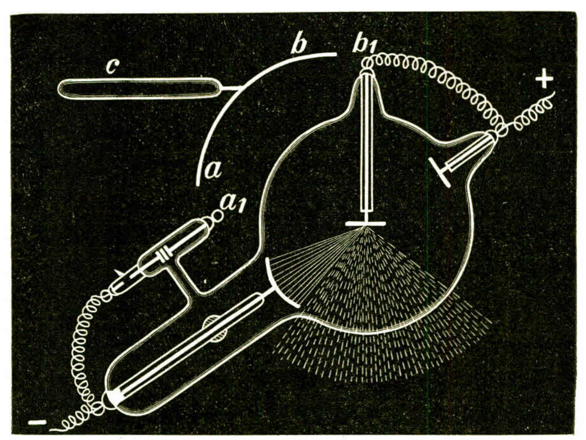


Fig. 336.

Grundprinzipien wie bei Schiff, Freund, Hahn; Röhren weich bis mittelweich bei Behandlung von Hautkrankheiten; harte Röhren bei Beeinflussung der tieferen Schichten (Haarentfernung, Behandlung innerer Organe, Behandlung von Gelenken etc.).

Wenn der Patient gegen die Röhre sieht, Verwendung einer Bleibrille oder einer Bleiglasbrille zum Schutze der Augen.

Über sämtliche Einzelheiten siehe Tafel I.

Das »gesiebte« Röntgenagens zeichnet sich durch mildere Wirkung aus; daher wird eine intensivere, tägliche bis zweitägliche Behandlung bei einer Sitzungsdauer von 13 bis 15 Minuten und einem Röhrenabstand von durchschnittlich 15 cm von der Antikathode aus gerechnet, möglich.

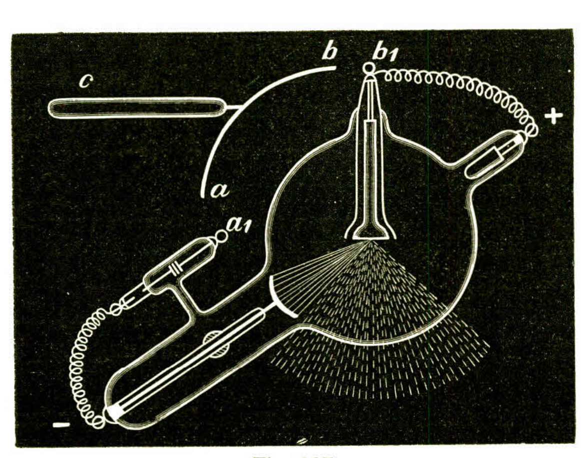


Fig. 337.

Bezüglich der in der Therapie verwendeten Röntgenröhren sei noch folgendes erwähnt: Allgemein werden heute Röhren mit regulierbarem Vakuum gebraucht; doch bleibt dieses Vakuum nur selten konstant, ja es hat häufig nach 5 Minuten Bestrahlung einen ganz abweichenden Charakter im Vergleiche zum Beginne der Sitzung.

Die verschiedenen Abstimmungsvorrichtungen, die bereits erwähnt und Seite 165 Fig. 229 ff. abgebildet sind, haben sämtlich den gemeinsamen

Nachteil, daß man die Röhre berühren muß, um eine Abstimmung zu ermöglichen. Nur zu oft setzt eine solche Regulierung daher die vorübergehende Unterbrechung der Sitzung voraus.

Ich habe mich daher mit großem Vorteile der in Fig. 336 bis 338 abgebildeten Röntgenröhren von Schilling-Gehlberg i. Th. bedient.

Ohne irgend eine Erschütterung der einmal eingestellten Röhre kann man je nach Wunsch mittels des an isoliertem Stiele sich befindenden Bügels die Regulierung vornehmen; auch für Durchleuchtungs- und photographische Zwecke eignet sich dieser Typus von Röhren, nebenbei bemerkt, vorzüglich. Fig. 337 zeigt eine Form für höhere Beanspruchung, Fig. 338 dieselbe mit Wasserkühlung.

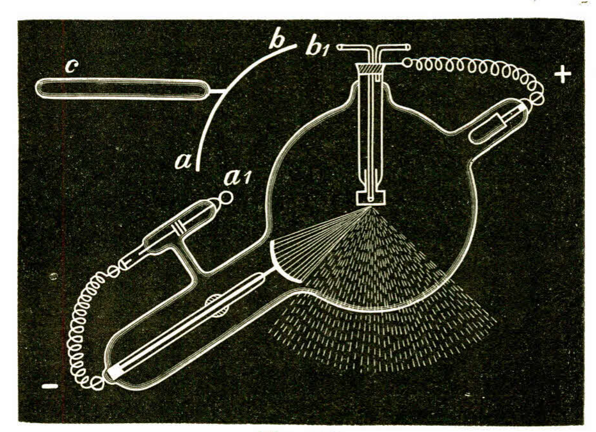


Fig. 338.

Verwendung findet die Röntgentherapie bei:

Krankheiten der Haare an behaarten Stellen: Favus, Sykosis, Trichophytosis, Alopecia areata.

An sonst nicht oder wenig behaarten Stellen: Hypertrichosis.

Gegen Ulzerationen: Lupus (vergl. Abbildungen auf Tafel IV), Epitheliome, Mykosis, Hautsarkom gegen chronische Ulzerationen.

Gegen Dermatosen: chronisches Ekzem, Psoriasis, Prurigo, Lupus eryth., Akne.

Innere Krankheiten: tiefe Karzinome Gelenkhydrops, Exudate, Knochentuberkulose; unsicher: Lungentuberkulose.

Nervenaffektionen: Neuralgien, Rheumatismus, vage Schmerzen.

13. Reaktionen und Röntgenverbrennungen.

Es war oben von »Reaktionen« die Rede; sie treten nach verschiedenen Zeiten auf, nämlich 2 Tagen, 6 Wochen, ja Monaten. Von ihnen sind zu trennen die »Vorreaktionen«, d. h. plötzlich, oft nach wenigen Sitzungen sich zeigenden heftigen Rötungen der Haut.

Letztere verschwinden nach Aussetzung der Behandlung von selbst nach wenigen Tagen; sie werden allerdings, wenn nur im Anfluge vor-

handen, zur Winterszeit, wohl infolge des Einflusses der Kälte, sehr intensiv, so daß Patient und Umgebung sich sehr erschrecken. (Freund, Köhler.)

Wenn in diesem Stadium von unkundiger Hand Reizungen vorgenommen werden, können auch diese »Vorreaktionen« zu heftigen Entzündungen führen. Überläßt man sie sich selbst, wobei Patient kühlt, vielleicht unter Aufstreichung von etwas »Brolanolin«, dann sind sie, wie gesagt, nach wenigen Tagen völlig verschwunden und kehren auch bei einer weiteren Bestrahlung nicht sofort wieder.

Anders die wirklichen Reaktionen; sie stellen in den leichteren Stadien eine mehr oder minder intensive Rötung der Haut auch unter Schwellung dar. Unter Schonung der Haut bei leichten Salbenverbänden (ja nicht nach den »Regeln der Kunst« wie Brandwunden behandeln!), höchstens mittels leicht warmer Kompressen von Bleiwasser und Arnika zeitweise während einer halben bis ganzen Stunde bedeckt, verschwinden sie mehr oder minder bald.

In dem in der Tafel IV ersichtlichen Falle trat nach einwöchentlicher Bestrahlung bei täglichen Sitzungen fast jeden Freitag eine ungemein starke Reaktion ein, die dann unter dieser Behandlung jeweils bis zum Montag Abend wieder verschwunden war, so daß weiter bestrahlt werden konnte.

War, wie in früherer Zeit es geschah, die Einwirkung der X-Strahlen, weil nicht kontrollierbar, stärker, so stellte sich starke Schwellung ein, ja in deren Gefolge Blasenbildung und Absterben der Haut. Nach Abstoßung der Haut unter dem Salbenverbande trat häufig ein gelber, weicher Belag an Stelle der Hautstellen im Bereiche der Verbrennung.

Dem Verkennen dieses Belages und der spezialistischen Sucht des Desinfizierens oder Operierens verdanken in einigen dieser unglücklichen Fälle die Patienten ihre Narben dieser vermeintlichen ärztlichen Kunst.

Beschränkt man sich dagegen darauf, mittels nichtreizender Salbenverbände — ja kein Ichthyol! — mit Lanolin als Grundlage, etwas Borsäure, Dyachilonsalbe und ganz geringe Mengen Dermatol bei starkem Nässen, ferner unter Abwechslung mit den genannten warmen Kompressen (gegen neue Entzündungen auch stubenwarm), die umliegende Haut, wie den Geschwürsgrund zur Produktion neuen Gewebes anzuregen, so vollzieht sich folgendes: Die Haut im Umkreise des Belags wird lebhaft gerötet, sie schiebt kleine, weiße Ausläufer vorwärts; diese heben den gelben Belag vom Grunde ab, verkleinern so konzentrisch vorrückend die gelbe Fläche und führen eine völlige »Naturheilung« herbei. Die neugebildete Haut ist dann lebhaft gerötet, neigt zum Wiederaufbrechen, zu Rissen etc.

Je weniger man auch hier unternimmt, um so besser wird die Heilung; allmählich verschwindet das Rote mehr, es bleiben nur noch kleine rötliche Stellen übrig (Bezirke mit Gefäßerweiterungen), die mit der Zeit mehr und mehr zurücktreten.

Greift man dagegen unzweckmäßig ein, wie geschehen, mittels des scharfen Löffels, oder mittels »Zugpflasters!« dann geht die ganze unter dem Belag sitzende Hautschicht bis in die Tiefe verloren; die Narben kommen tiefer zu liegen als das übrige Hautniveau, sie sitzen auf dem Grunde fest, bleiben rotglänzend und häßlich!

Die Heilungsdauer kann mitunter 6 bis 12 Monate und mehr betragen!

In anderen Fällen kommt es nur zur trockenen Hautveränderung; die Haut wird eigentümlich spröde, weißlich glänzend, oder hat bläulichen Schimmer; im Umkreise dieser Zonen legt sich das Hautpigment in dichten Reihen nieder, so daß diese glatten Stellen von einem Kranze von »Laubflecken« umgeben sind; auch nach Abheilung schwererer Verbrennungen liegt »Pigmentwanderung« vor.

Wir können alle diese Erscheinungen nur kurz streifen.

Nicht selten bilden sich auf den Händen der Röntgenpraktiker bald mehr trockene, bald entzündlich rote Hautveränderungen, die sehr hartnäckig sind.

Den Schutz gegenüber den Röntgenverbrennungen (»Röntgenulcera«) suchen wir heute zunächst durch eine zweckdienliche Technik, sodann ganz besonders durch Anwendung von Schutzmaßregeln, die sich auf die Patienten wie auf unsere Person beziehen und oben erwähnt sind, zu erzielen.

Immerhin können wir mit absoluter Sicherheit nicht ausschließen, daß trotzdem einmal ein Schaden eintritt. So umfangreich und häufig, wie dies die Sensationssucht interessierter Kreise hingestellt hat, ist die Gefahr der Röntgenverbrennung nicht; sie ist, wie neuerdings nachgewiesen wurde, noch geringer, als die Gefahr des Chloroformtodes in der Narkose.

Immerhin wird man sich weder selbst noch den Patienten wegen Kleinigkeiten oder einzelner Härchen diesen Eventualitäten aussetzen. Bei wirklichen Erkrankungen der Haut dagegen wiegt der in Aussicht stehende Erfolg die Gefahren einer Verbrennung mehr als auf!

Auf alle Fälle wird man angesichts der heutigen Gesetzgebung, die es möglich macht, daß der Zeugen entbehrende, gewissenhafte Arzt das Opfer von Erpressungsversuchen wird, oder der Böswilligkeit anheimfällt (vor

allem seitens jener großen Gruppe »hysterischer Weiber«, die nach Monaten kalten Blutes das Gegenteil beschwören von dem wahren Sachverhalt) — nicht unterlassen, bei einer guten Gesellschaft sich durch eine Haftpflichtversicherung gegen alle Eventualitäten seines Berufes und vor allem der Röntgentechnik zu schützen.

Kommt ein Unfall vor, so hat auch der gewissenhafteste, schuldlose Arzt durch üble Nachrede und die Schädigung seines Renommés genug zu leiden, oder er wird zu Unrecht verurteilt und hat einen jahrelang dauernden Kampf gegenüber von Vorurteilen und »Sachverständigengutachten« zu führen — von Gutachten, die, trotz des bestehenden gerichtlichen Formalismus, von Leuten ausgestellt wurden, die keine blasse Ahnung von Röntgentechnik und Röntgenverbrennung hatten!

Erklärungen zu den Tafeln.*)

Tafel 1 (dem Titelblatt gegenüber): Röntgenbestrahlung im ärztlichen Sprechzimmer. In der Mitte »Bestrahlungsgestell« mit seitlich je einer Röhre und je einem Patienten. Je eine »geerdete« Bleifolie als »Fahne« angebracht, schützt sowohl gegenüber zu intensivem Röntgenlichte, da die Strahlen nur durch deren Diaphragma dringen; sodann »siebt« diese Folie das Röntgenagens. Wegen der »Fahnenwirkung« brauchen die beiden Masken nicht über die Haare zu gehen, was für Damen unbequem und nach Sachlage überflüssig wäre. Links die Klemme der »Erdung« der Maske wie der Bleifolie sichtbar; zur Demonstration trägt diese Patientin eine Bleibrille, die rechts sitzende zeigt die zweckmäßigste Stützung des Kopfes.

Das positive Kabel geht zunächst an die birnenförmige »Ventilröhre«, die etwas schief gestellt ist; von hier an den positiven, unten sich befindenden Pol der rechten Röntgenröhre. Von deren negativer Öse läuft ein Verbindungskabel zum positiven Pole der zweiten, linken Röhre; vom negativen aus das negative Kabel zum Induktor.

Links im Hintergrunde das Universalgestell von der röhrentragenden Seite betrachtet; an dessen unterem Ende der Bodenteil mit einer Kokosnußmatte belegt. Die rechte Patientin stellt ihre Füße hier auf. Sie sitzt auf einem Stuhle mit allseitig verstellbarer Kopfstütze. Links neben dieser »Patientin rechts« Unterbrecher und Widerstände mit Ampèremeter; rechts davon die verschiedenen Stromzuführungs-Stöpsel.

An der Wand im Hintergrunde ganz rechts das »Skiatoskop«; darunter, größtenteils verdeckt, die Albers-Schönbergsche Kompressionsblende neuester Konstruktion mit Blenden und Röhre. Darüber Werkzeugschrank, unter ihm Durchleuchtungsschirm ohne Bleiglas, während ein solcher mit Bleiglas auf der fluoreszierenden Schicht auf dem Unterbrecherkasten auf-

---

*) Sämtliche Tafeln nach Originalphotogrammen des Verfassers hergestellt.

gestellt ist. Neben dem Werkzeugschrank eine Kollektion von »Stanniolmasken«, jede für einen Patienten bestimmt, mit verschiedenen Ausschnitten.

Ganz rechts vorn auf kleinem Tische die zerlegbare Bleikiste mit Pyramide und viereckigen Blenden, obenauf eine Bleiglasbrille; in dem Torbogen eine aufgeklappte photographische Kassette mit einliegendem Verstärkungsschirme. Eine ebensolche Kassette mit aufgezeichneter Plattengröße befindet sich an der Wand im Hintergrunde, unterhalb der Stromzuführungsstöpsel, eine weitere unter der Kompressionsblende. Der Verstärkungsschirm sieht bei ersterer als schmale weiße Zone etwas heraus.

Tafel 2: Hand mit Ring und Schußverletzung. Die Kugel ist vorne im Zeigefinger von unten her eingedrungen, hat hier einen kleinen Bleisplitter sitzen lassen, ist alsdann, unter Sprengung der Knochenhöhle, weiter nach dem Fingergelenke vorgedrungen und hier endgültig zur Ruhe gekommen.

Tafel 3: Kind mit eitriger »congenitaler« Gehirnentzündung. An der Basis des Gehirns der fünf Tage alten lebenden Frucht die »Knochenkerne« sichtbar, um dieselben das Exudat. Kind nach einer Woche gestorben, die Sektion ergab die Richtigkeit der Diagnose.

Tafel 4: Lupusbehandlung innerhalb fünf Monaten. Die zwanzigjährige Patientin litt im zehnten Jahre an Lupus der Nasenspitze; infolge unangebrachter Operation — Abschneidung der Nasenspitze — verbreitete sich der Lupus auf das ganze Gesicht und über das Kinn hinab auf den Hals.

Abbildung 1. Bei Beginn der Kur alles von Borken oder frischen Lupusknötchen übersät; die linke Hälfte der Oberlippe eingezogen; die entsprechende Seite der Unterlippe in eine harte Schwiele verwandelt. (Januar.)

Abbildung 2. Die rechte Seite der Patientin nach einmonatlicher Bestrahlung der rechten Seite; Borken verschwunden, beginnende Abheilung der lupösen Stellen. (Februar.)

Abbildung 3. Dieselbe Seite nach viermonatlicher Behandlung; lupöse Stellen fast völlig verschwunden, strahliges Narbengewebe, Zunge frei von Knötchen. (Mai.)

Abbildung 4. Nach 5 Monaten und im ganzen 120 Bestrahlungen Lupusknötchen verschwunden, oder ganz vereinzelt und klein; keine Borken, Narben geglättet; Gesichtsausdruck völlig verändert und verschönert. (Juni.)

NB. Im Dezember berichtet Patientin, daß nunmehr das ganze Gesicht völlig geheilt und gleichmäßig gefärbt sei.

Sachregister.

(Die Ziffern bezeichnen die Seitenzahlen.)

E.

F.

G.

H.

M.

N.

O.

P.

Q.

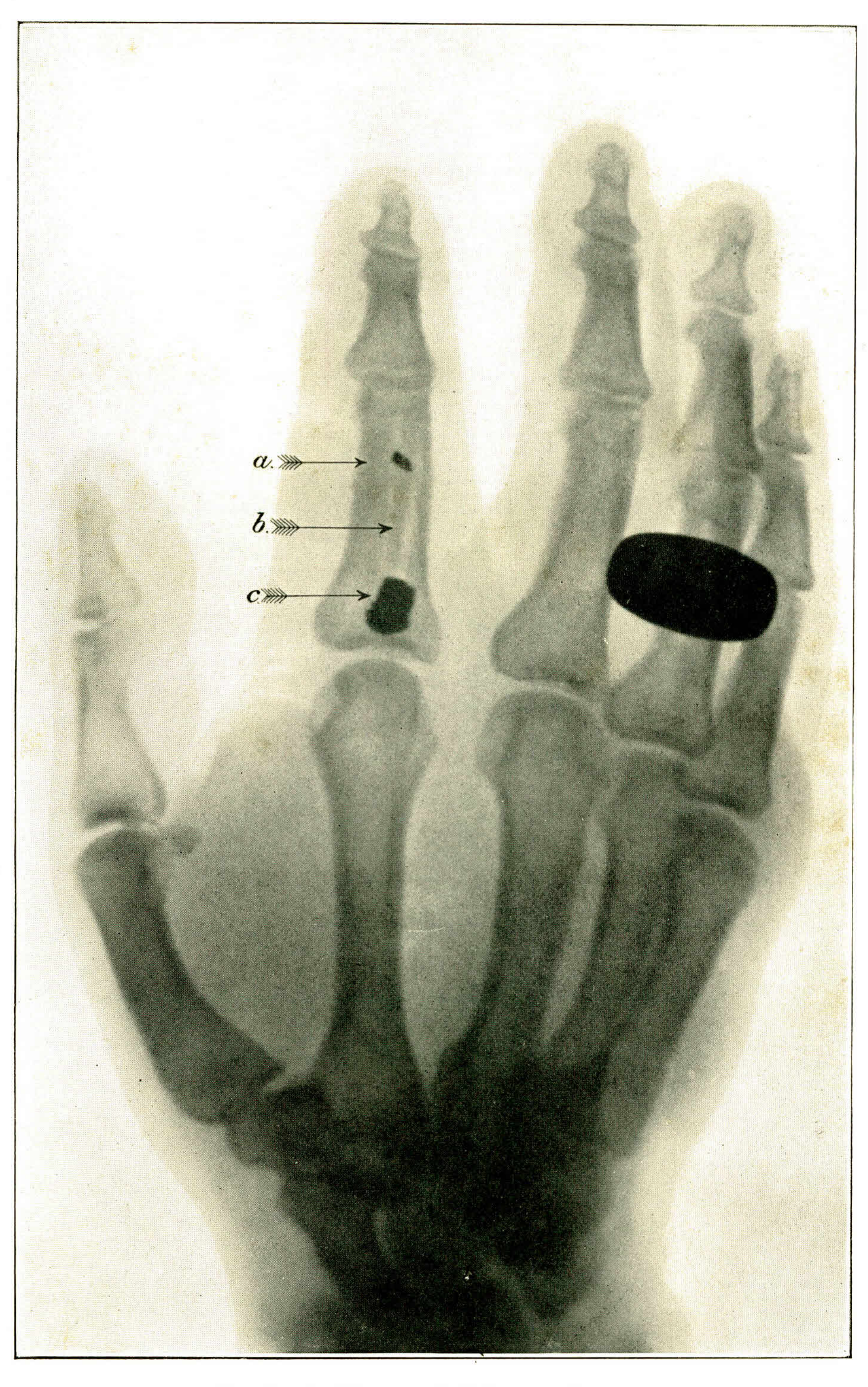
R.

S.

T.

Namenregister.

(Die Ziffern bezeichnen die Seitenzahlen.)



Hand mit Ring und Schussverletzung.

Erklärung siehe Seite 300.



Neugeborenes Kind mit eitriger Gehirnentzündung.

Erklärung siehe Seite 300.

Ruhmer-Schürmayer, Funkeninduktoren. Verlag Hachmeister & Thal, Leipzig.